

ISSN 2077–4893 (Print)
ISSN 2077–4915 (Online)

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ



1 • 2024

Виходить чотири рази на рік

ЗАСНОВНИКИ

**Інститут агроекології і природокористування
Національної академії аграрних наук України**

Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України»

**Всеукраїнська громадська організація
«Асоціація агроекологів України»**

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

вул. Метрологічна, 12, Київ-143, 03143
тел. (044) 522-60-62; e-mail: agroecojournal@ukr.net
<https://journalagroeco.org.ua>

*Журнал внесено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»)
згідно з Наказом МОН України від 17.03.2020 № 409
для публікації основних результатів дисертаційних робіт та матеріалів
досліджень вчених теоретичного і практичного характеру з актуальних питань
за спеціальностями: 101 – Екологія; 201 – Агронімія;
091 – Біологія; 051 – Економіка; 205 – Лісове господарство;
204 – Технологія виробництва та переробки продукції тваринництва.*

*Журнал включено до міжнародних інформаційних та наукометричних баз:
Research Bib Journal Database (Японія)
Index Copernicus (Республіка Польща)
Google Scholar (США)
Ulrich's Periodicals Directory (США)*

Пристатейний список літератури продубльовано відповідно до вимог міжнародних систем транслітерації (зокрема, наукометричної бази SCOPUS)

Відповідальність за зміст і достовірність поданих матеріалів та точність наведених даних несуть автори наукових статей.
Редколегія не завжди поділяє думки авторів статей

**Журнал друкується і поширюється через мережу Інтернет
за рішенням вченої ради Інституту агроекології і природокористування НААН
(протокол № 2 від 29 лютого 2024 р.)**

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 23578-13418 ПР від 27.09.2018.

Підписано до друку 27.03.2024 р. Формат 70×100/16. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 12,9. Наклад 250 прим. Зам. № АЕ-01–24.
Оригінал-макет та друк ТОВ «ДІА». 03022, Київ-22, вул. Васильківська, 45

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

1 • 2024



КИЇВ • 2024

EDITORIAL BOARD

Editor-in-chief

DREBOT O., Doctor of Economic Sciences, Prof., Academician of NAAS

Executive Secretary

SHUMYHAI I., Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher

- | | |
|--|--|
| BUDZANIVSKA I. ,
<i>Doctor of Biological Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | SYCHOV M. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)</i> |
| BUSHTRUK M. ,
<i>Candidate of Agricultural Sciences,
Docent (Ukraine)</i> | TARARIKO O. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,
Academician of NAAS (Ukraine)</i> |
| VYSOCHANSKA M. ,
<i>Doctor of Economic Sciences,
Senior Researcher (Ukraine)</i> | TERTYCHNA O. ,
<i>Doctor of Biological Sciences,
Senior Researcher (Ukraine)</i> |
| VOVK N. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | TKACH Ye. ,
<i>Doctor of Biological Sciences,
Senior Researcher (Ukraine)</i> |
| GUDKOV I. ,
<i>Doctor of Biological Sciences, Prof.,
Academician of NAAS (Ukraine)</i> | FURDYCHKO O. ,
<i>Doctor of Economic and Agricultural Sciences, Prof.,
Academician of NAAS (Ukraine)</i> |
| DEMYANYUK O. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,
Corresponding member of NAAS (Ukraine)</i> | CHOBOTKO G. ,
<i>Doctor of Biological Sciences, Prof. (Ukraine)</i> |
| DOBRYAK D. ,
<i>Doctor of Economics Sciences, Prof.,
Corresponding member of NAAS (Ukraine)</i> | SHERSTOBOEVA O. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)</i> |
| ZAITSEV Yu. ,
<i>Doctor of Economic Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | SHERSHUN M. ,
<i>Doctor of Economic Sciences, Senior Researcher
(Ukraine)</i> |
| KONISHCHUK V. ,
<i>Doctor of Biological Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | SHKURATOV O. ,
<i>Doctor of Economic Sciences, Prof. (Ukraine)</i> |
| KOPIY L. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | YUKHNOVSKYI V. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)</i> |
| KOSTENKO S. ,
<i>Doctor of Biological Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | WALAT W. ,
<i>Doctor of Humanities Sciences, Prof. (Poland)</i> |
| LESOVOY N. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | DURSUN S. ,
<i>PhD, Prof. (Turkey)</i> |
| MUDRAK O. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | KOWALSKA A. ,
<i>Doctor of Engineering and Technical Sciences,
Docent (Poland)</i> |
| NAGORNIUK O. ,
<i>Candidate of Agricultural Sciences, Docent (Ukraine)</i> | COELHO PINHEIRO. M. ,
<i>PhD, Prof. (Portugal)</i> |
| PALAPA N. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences,
Senior Researcher (Ukraine)</i> | SOBCZYK V. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Poland)</i> |
| PARFENYUK A. ,
<i>Doctor of Biological Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | OKABE Y. ,
<i>Doctor of Economic Sciences, Prof. (Japan)</i> |
| SYMOCHKO L. ,
<i>Candidate of Biological Sciences, Docent (Ukraine)</i> | |

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор

ДРЕБОТ О.І., д-р екон. наук, проф., акад. НААН

Відповідальний секретар

ШУМИГАЙ І.В., канд. с.-г. наук, ст. досл.

- БУДЗАНІВСЬКА І.Г.**, д-р біол. наук, проф. (Київ)
БУШТРУК М.В., канд. с.-г. наук, доцент (Біла Церква)
ВИСОЧАНСЬКА М.Я., д-р екон. наук, ст. досл. (Київ)
ВОВК Н.І., д-р с.-г. наук, проф. (Київ)
ГУДКОВ І.М., д-р біол. наук, проф., акад. НААН (Київ)
ДЕМ'ЯНЮК О.С., д-р с.-г. наук, проф., чл.-кор. НААН (Київ)
ДОБРЯК Д.С., д-р екон. наук, проф., чл.-кор. НААН (Київ)
ЗАЙЦЕВ Ю.О., д-р екон. наук, проф. (Київ)
КОНЩУК В.В., д-р біол. наук, проф. (Київ)
КОПІЙ Л.І., д-р с.-г. наук, проф. (Львів)
КОСТЕНКО С.О., д-р біол. наук, проф. (Київ)
ЛІСОВИЙ М.М., д-р с.-г. наук, проф. (Київ)
МУДРАК О.В., д-р с.-г. наук, проф. (Вінниця)
НАГОРНЮК О.М., канд. с.-г. наук, доцент (Київ)
ПАЛАПА Н.В., д-р с.-г. наук, старш. наук. співроб. (Київ)
ПАРФЕНЮК А.І., д-р біол. наук, проф. (Київ)
СИМОЧКО Л.Ю., канд. біол. наук, доцент (Ужгород)
СИЧОВ М.Ю., д-р с.-г. наук, проф. (Київ)
ТАРАРІКО О.Г., д-р с.-г. наук, проф., акад. НААН (Київ)
ТЕРТИЧНА О.В., д-р біол. наук, старш. наук. співроб. (Київ)
ТКАЧ Є.Д., д-р біол. наук, ст. досл. (Київ)
ФУРДИЧКО О.І., д-р екон. і с.-г. наук, проф., акад. НААН (Київ)
ЧОБОТЬКО Г.М., д-р біол. наук, проф. (Київ)
ШЕРСТОБОЄВА О.В., д-р с.-г. наук, проф. (Київ)
ШЕРШУН М.Х., д-р екон. наук, доцент (Київ)
ШКУРАТОВ О.І., д-р екон. наук, проф. (Київ)
ЮХНОВСЬКИЙ В.Ю., д-р с.-г. наук, проф. (Київ)
ВАЛАТ В., д-р педаг. наук, проф. (Республіка Польща)
ДУРСУН С., д-р філософії, проф. (Туреччина)
КОВАЛЬСЬКА А., д-р інж.-техн. наук, доцент (Республіка Польща)
КОЕЛЬО ПІНЕЙРО М., д-р філософії, проф. (Португалія)
СОБЧИК В., д-р с.-г. наук, проф. (Республіка Польща)
ЙОШІХІКО ОКАБЕ, д-р екон. наук, проф. (Японія)

- Дребот О.І., Лазаренко В.І.**
Стратегічний підхід до застосування економічних важелів в екологічно безпечному сільському господарстві
- Тертична О.В., Рябуха Г.І., Кудряшова К.М., Шевченко Л.А., Мірошник Н.В.**
Перспективи формування лісопасовищних систем: досвід Європейського Союзу для України
- Бондаренко О.Ю., Назарчук Ю.С.**
Перспективи та особливості існування видів роду *Oenothera* L. поза місць культивування в Одеській обл.
- Височанська М.Я., Мішенін Є.В.**
Системи управління твердими побутовими відходами України з урахуванням європейського досвіду
- Сова Л.О.**
Оцінювання втрат екосистемних послуг непроточних водойм унаслідок мілітарного втручання
- Грищенко О.М., Паламарчук Р.П., Циганов І.В., Сироватко В.О., Яценко Ю.М.**
Уміст важких металів у донних відкладах осушеного Каховського водосховища
- Жуковський О.В., Краснов В.П., Курбет Т.В., Орлов О.О., Весельський О.О.**
Зміна радіоактивного забруднення брусниці звичайної (*Vaccinium vitis-idaea* L.) з часу аварії на ЧАЕС у лісах Житомирського Полісся
- Чорнобров О.Ю.**
Запаси відмерлої сухостійної деревини у лісових насадженнях Середнього Придніпров'я (Лісостеп України)
- Волкогон І.В.**
Біологічна активність дерново-підзолистих ґрунтів за різних рівнів радіоактивного забруднення
- Стецюк О.П., Кириченко Л.П., Любченко В.В., Штанько І.П., Ратошнюк В.І., Ратошнюк Т.М.**
Технологічні особливості ведення органічного хмелярства
- 6 **Drebot O., Lazarenko V.**
Strategic approach to the application of economic levers in environmentally safe agriculture
- 16 **Tertychna O., Ryabukha G., Kudriashova K., Shevchenko L., Miroshnyk N.**
Prospects for the formation of forest-pasture systems: experience of the European Union for Ukraine
- 26 **Bondarenko O., Nazarchuk Yu.**
Prospects and peculiarities of the existence of the genus *Oenothera* L. species outside the places of cultivation in Odesa region
- 38 **Vysochanska M., Mishenin Ye.**
Household solid waste management systems in Ukraine taking into account European experience
- 44 **Sova L.**
Assessment of the losses of ecosystem services of non-flowing waters as a consequence of military intervention
- 53 **Hryshchenko O., Palamarchuk R., Tsyhanov I., Syrovatko V., Yatsenko Yu.**
Content of heavy metals in bottom sediments of drained Kakhovka Reservoir
- 66 **Zhukovskiy O., Krasnov V., Kurbet T., Orlov O., Veselskiy O.**
Dynamics of radioactive contamination of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) in the forests of Zhytomyr Polissia (Ukraine) since the Chernobyl Nuclear Accident
- 75 **Chornobrov O.**
Standing dead wood stocks in forest stands of Middle Dnieper region (Forest-Steppe of Ukraine)
- 85 **Volkohon I.**
Biological activity of sod-podzolic soils at different levels of radioactive contamination
- 96 **Stetsiuk O., Kyrychenko L., Lyubchenko V., Shtanko I., Ratoshniuk V., Ratoshniuk T.**
Technological features of organic hop cultivation

Забарна Т.А., Черешнюк В.В. Агроекологічні аспекти вирощування сої (<i>Glycine max</i> L.) в Україні	108	Zabarna T., Chereshtnyuk V. Agro-ecological aspects of soybean (<i>Glycine max</i> L.) cultivation in Ukraine
Гунчак М.В. Біологічний метод захисту яблуни проти парші (<i>Venturia inaequalis</i> (Cooke) Wint.) в умовах Передкарпатської провінції Карпатської гірської зони України	117	Hunchak M. Biological method of apple trees protection against scamb (<i>Venturia inaequalis</i> (Cooke) Wint.) in the conditions of Precarpathian province of the Carpathian mountain zone of Ukraine
Єгорова Т.М., Шумиґай І.В. Біохімічні особливості пшениці озимої (<i>Triticum vulgare</i> L.) за збалансованості цинку та міді у системі «грунт–рослина»	126	Yehorova T., Shumyhai I. Biochemical properties of winter wheat (<i>Triticum vulgare</i> L.) under Zn and Cu balance in the soil-culture system
Безноско І.В., Горган Т.М., Мосійчук І.І., Біленька О.М. Вплив препаратів на фотосинтетичну діяльність рослин ячменю ярого (<i>Hordeum vulgare</i> L.) пивоварного напрямку та якісні показники зерна	133	Beznosko I., Gorgan T., Mosiychuk I., Bilenka O. Influence of preparations on photosynthetic activity of brewing barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.) plants and quality indicators of grain
Мудрак О.В., Морозова Т.В. Ростові процеси пшениці твердої (<i>Triticum durum</i> Dest.) на градієнті концентрації формальдегіду у мікрокосмних моделях	143	Mudrak O., Morozova T. Growth processes of <i>Triticum durum</i> Dest. on the formaldehyde concentration gradient in microcosmic models
Борисенко М.М., Шевчик В.Л., Соломаха І.В. Живлення клопів лігеїд (<i>Heteroptera, Lygaeidae</i>) на ваточнику сирійському (<i>Asclepias syriaca</i> L.) у Канівському природному заповіднику	152	Borysenko M., Shevchyk V., Solomakha I. Feeding of lygaeid bugs (<i>Heteroptera, Lygaeidae</i>) on the common milkweed (<i>Asclepias syriaca</i> L.) in Kaniv Nature Reserve
Атаршикова А.М., Сенчук Т.Ю., Жукорський О.М. Гігієнічна активність медоносних бджіл на окремих територіях України	158	Atarshchykova A., Senchuk T., Zhukorskyi O. Hygiene activity of bees in certain territories of Ukraine
Сахарнацький В.В. Багато векторність еколого-економічного оцінювання водних ресурсів України	165	Sakharnatskyi V. Multivectority of ecological and economic assessment of water resources of Ukraine
Реферати	177	Abstract
Відомості про авторів	187	Information about the authors
Правила для авторів	190	Rules for the authors

СТРАТЕГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ЗАСТОСУВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ВАЖЕЛІВ В ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОМУ СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

О.І. Дребот, В.І. Лазаренко

*Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: drebot_oksana@ukr.net; ORCID: 0000-0003-2681-1074
e-mail: Vladlaz93@ukr.net; ORCID: 0000-0002-8376-4668*

У цій статті розглянуто питання застосування та впровадження економічних важелів щодо екологічно безпечних товарів сільськогосподарського походження як частини комплексу заходів загальної екологічної політики держави в довгостроковій перспективі, що регламентується чинними нормами українського законодавства. Інструментарій щодо цієї категорії товарів представлено у вигляді державних і комерційних засобів, що регулюють продаж і використання екологічно безпечних товарів та послуг, не обмежуючи їх спрямування лише на екологізацію виробничого процесу сільського господарства, а й зокрема на комплексне розв'язання сучасних проблем екологічної інформативності соціуму й вирішення актуальних завдань економіки природокористування. До того ж, як на рівні пересічного індивіда, так і на рівні промислового споживача сільськогосподарських ресурсів, а також враховані інтереси держави в контексті забезпечення норм екологічної безпеки. Розгляд цього питання здійснювався за допомогою оцінки чотирьох категорій економічних важелів: податки на екологічну продукцію сільського господарства, податкова диференціація цієї категорії товарів, система стимулів при трансформації процесу виробництва агропродукції до ресурсоощадної моделі бізнесу, відповідальність виробників за нанесення шкоди навколишньому природному середовищу агросфери як на рівні держави, так і на рівні окремих виробників. Визначено, що у кожного з цих важелів є певні переваги та недоліки, внаслідок яких їх доцільно застосовувати у взаємозв'язку з певними заходами в межах загальної екологічної політики щодо певних товарів, тоді як у в інших випадках вони менш ефективні. На сучасному етапі розробки екологічної політики України головне завдання полягає у визначенні інструментів, доцільних для розв'язання конкретної екологічної проблеми, зокрема — повосенне відновлення ресурсів агросфери, ліквідація наслідків активної фази бойових дій російсько-української війни в середньо- та довгостроковій перспективі, а також підвищення подальшого рівня екологічного інформаційного забезпечення з метою вирішення екологічних проблем повосенного відновлення ресурсів агросфери.

Ключові слова: економіка природокористування, екологічна політика, агропромисловий комплекс України, повосенне відновлення, збалансований розвиток, раціональне природокористування.

ВСТУП

Ключовою підставою для розгляду державної екологічної політики з позиції чотирьох ключових інструментів, про які йдеться вище, є їх здатність викликати зміну поведінки виробників і споживачів, унаслідок чого є реальна можливість скорочення викидів забруднюючих речовин в атмосферу, а також інші нівелювання (або повне скорочення) інших видів екологічного забруднення для агресурсів. Першим кроком під час впровадження в систему

екологічної політики будь-якого інструменту мають бути визначені конкретні цілі цієї самої політики, що лежать в основі цього інструменту. Тобто як, за рахунок його використання, будуть досягнуті саме екологічні цілі. Тільки після визначення цього можна ставити ключові питання про те, чи здатний інструмент досягти поставленої мети, чи існують найкращі альтернативи тощо.

У загальному та широкому розумінні під екологічною політикою прийнято вважати комплекс заходів, який спрямовано

на належну охорону та відновлення природно-ресурсного середовища різних типів екосистеми (в цьому випадку — агросфери України). Однією із ключових еколого-економічних функцій екологічної політики є запровадження системи стимулювальних та обмежувальних заходів у частині управління на рівні держави та окремого суб'єкта господарювання. Важливо відмітити, що обґрунтування цих економічних важелів, які представлені у цьому дослідженні, виступають як допоміжні інструменти для досягнення стратегічних цілей екологічної політики: збалансований розвиток, екологічна свідомість та цінності, раціональне використання природних ресурсів тощо. Тому оцінка функціонування і вивчення цих важелів у парадигмі сучасних умов є актуальним завданням.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Серед українських вчених загальні питання щодо ефективності та подальшої реалізації екологічної політики України в різний період часу приділяли такі вчені, як Андрейцев В.І., Буркинський Б.В., Веклич О.О., Галушкіна Т.П., Качаровська Л.М., Ковтун В.А., Федчак О.М. [1–6], науковий доробок яких вніс вагомий внесок у формування теоретико-методологічних принципів оцінки ефективності екологічної політики. Однак, залишається недостатньо розкритим та вивченим питання окремих економічних важелів, як складових екологічної політики, зокрема в екологічно безпечному виробництві.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою належного розкриття суті цих досліджень, були використані такі методи: наукової абстракції (перевірка гіпотези про те, що за рахунок комплексного підходу до оцінки економічних важелів можливо досягти ефективності здійснення чинної екологічної політики на екологічному та економічному рівні загалом), абстрактно-логічний (у формуванні логічно послідовного зв'язку між економічними важелями з

поєднанням їх в єдиному зв'язку), аналізу та синтезу (для оцінки й характеристики кожного з цих економічних важелів), узагальнення (для систематизації усіх чинників, які здійснюють системоформувальний вплив на функціонування економічних важелів в екологічно безпечному сільському господарстві).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Перш ніж з'ясувати як саме функціонують економічні важелі в системі екологічної політики, необхідно визначити поняття обох цих термінів. Так, під економічними важелями прийнято вважати специфічні інструменти управління національною економікою (окремою її сферою) в межах загального державного механізму. Їх застосовують залежно від конкретної мети держави в межах загальної політики протекціонізму національної економіки. Відповідно, такі інструменти можуть мати або стимулювальний, або обмежувальний характер. У межах цього дослідження, економічні важелі цікаві не лише як інструмент економічної протекції, а як один з елементів досягнення цілей збалансованого розвитку агросфери [7].

З огляду на це, слід зазначити, що екологічна політика має рівневий характер і функціонує на таких рівнях:

- *міжнародно-глобалістичний* (розв'язання проблеми глобальної деструкції природних ресурсів, різного роду викидів, забруднення світового океану тощо);
- *національний рівень* (здійснення різного роду природоохоронних заходів у межах загальнонаціональної екологічної стратегії);
- *регіональний рівень* (утворення різних природних парків, заказників, заповідників, вирішення екологічних проблем окремого регіону);
- *місцевий рівень* (розв'язання екологічних проблем пов'язаних із малими екосистемами на рівні громад, районів).

Отже, враховуючи стратегічний характер цього дослідження, функціонування окремих економічних важелів необхідно



Рис. 1. Актуальні цілі екологічної політики України
Примітка: розроблено авторами.

здійснювати на всіх трьох рівнях, які стосуються держави. Цілі екологічної політики України закріплені відповідними нормативно-правовими актами [8] і їх можна розділити на певні етапи (рис. 1).

Як видно з рис. 1, а також враховуючи реальну економічну, екологічну, політичну та соціальні складові, Україна наразі знаходиться на початковому етапі, де метою є мінімізація й зниження екологічних ризиків. І саме на цьому етапі (початковому) застосування економічних важелів є найбільш ефективним. На наш погляд, такими важелями можуть бути такі інструменти: екологічні податки на продукцію сільського господарства, диференційована податкова система, система стимулів при трансформації процесу виробництва агропродукції, відповідальність виробників за нанесення шкоди навколишньому природному середовищу агросфери.

Екологічні податки на продукцію сільського господарства. До них відносяться податки, які стягуються з продажу одного товару або групи товарів із важливим природоохоронним значенням, виробництва чи споживання. Незалежно від початкового мотиву, запровадження податку може мати екологічний ефект, впливаючи на поведінку виробників і споживачів. Деякі інші екологічні податки на товари впроваджуються як джерело коштів на природоохоронні цілі (наприклад, доходів для поповнення фонду відшкодування збитків навколишньому середовищу).

Диференційована податкова система. Структуру діючих податків, які приносять

дохід, можна адаптувати з огляду на природоохоронні цілі: встановлювати вищі ставки податку на неекологічні категорії товарів, а також знижувати ставки податку на екологічно безпечні товари. Як правило, це має на меті змінити загальну поведінку: переорієнтувати виробників та споживачів із менш екологічних товарів сільського господарства на екологічно безпечні. Дифе-

ренціація податків, як правило, нейтральна з точки зору доходів, передбачаючи підвищення деяких податкових ставок та зниження інших, роблячи загальний вплив на рівень надходжень незначним.

Система стимулів при трансформації процесу виробництва агропродукції. Тут варто відмітити, що головним джерелом отримання коштів від виробників неекологічних товарів є платежі за спеціальне використання природних ресурсів і збори за забруднення навколишнього середовища, які входять до переліку податків, що сплачуються в Україні. Збільшення частини екологічних податків у загальному їх обсязі, з однієї сторони, призводить до зростання надходжень від них і надає можливість активнішого впровадження заохочувальних інструментів, а з іншої, мотивує розширення екологічно безпечного сільськогосподарського виробництва, збільшуючи його ефективність порівняно з екологічно деструктивним [9].

Відповідальність виробників за нанесення шкоди навколишньому природному середовищу агросфери. Такі системи, як правило, набувають форми законодавчих норм, що встановлюють різні вимоги для виробників, які зобов'язують їх повертати та утилізувати товари, що вийшли з експлуатації. Виробники можуть виконувати ці зобов'язання самостійно чи в комплексі шляхом створення механізмів, що заохочують високий рівень повернення та рециклінгу товарів. Однак остання категорія все-таки менше стосовно товарів саме сільськогосподарської сфери.

У кожного з цих економічних важелів є певні переваги та недоліки, внаслідок яких ці інструменти доцільно застосовувати у зв'язку з певними заходами політики щодо певних товарів, тоді як в інших випадках вони менш ефективні. На початковому етапі екологічної політики (а як вже зазначалося вище – в Україні наразі спостерігається саме початковий етап) головне завдання полягає у визначенні інструментів, доцільних для розв'язання конкретної екологічної проблеми.

Першим кроком під час створення будь-якого інструменту екологічної політики мають бути визначені її цілі, що лежать в основі кожного конкретного з перерахованих важелів. Лише після визначення цього можна ставити ключові питання про те, чи здатний інструмент досягти поставленої мети, чи існують кращі альтернативи тощо [10].

Істотною підставою для розгляду розробниками екологічної політики (на одному з рівнів) одного з чотирьох потенційних економічних важелів, що обговорюються в цьому дослідженні, є їх здатність викликати зміну поведінки виробників і споживачів, унаслідок чого скоротяться викиди забруднювальних речовин та інші збитки навколишньому середовищу.

Принципово важливим кроком на початковому етапі розробки політики застосування економічних важелів щодо сільськогосподарських товарів є вибір інстру-

ментів, доцільних для вирішення відповідних екологічних проблем та досягнення відповідних цілей екологічної політики (або конкретної з них), та здатних забезпечити необхідне покращання стану навколишнього середовища агросфери. Значно ефективніше досягти більшого ефекту при націленому охопленні ретельно опрацьованими інструментами вузького спектра продукції, ніж безсистемним застосуванням інструментів без їхнього належного опрацювання до широкого спектра екологічно безпечних товарів [11].

Щодо безпосереднього вибору економічного інструменту в екологічній політиці, то найскладнішим вважається управління трансформаційним процесом при переході на екологічно безпечніші форми сільського господарства. У цьому випадку екологічні податки на продукцію сільського господарства, загальна диференціація податкової системи мають дуже відмінні переваги та недоліки, які, швидше за все, будуть неоднаково проявлятися для різних категорій сільськогосподарських товарів. У таблиці, що подається нижче, узагальнюється можлива результативність щодо екологічної ефективності, впливу на бюджетні доходи та витрати, впливу на поведінку споживачів та загального наслідку на виробників та споживачів (табл.).

Очевидно, що оцінка ефективності кожного з цих важелів можлива за умови

Матриця впливу економічних важелів на ефективність екологічної політики

Еколого-економічний ефект	Екологічні податки на продукцію сільського господарства	Диференційована податкова система	Система стимулів при трансформації процесу виробництва агропродукції
Вплив на рівень рециклінгу	Невеликий чи нульовий. Споживачі сплачують податок, але вони не мають підстав змінювати практику повторної переробки	Потенційно сильний, якщо податкові пільги, передбачають гнучку систему повернення. Результат залежить від реакції споживачів (побутових та промислових)	За умови належного контролю вона має забезпечити виконання обов'язкового цільового показника, визначений умовами трансформації
Вплив на бюджетні доходи	Значний	При гнучкій системі повернення та отримання, ефект наближається до нульового показника	Нульовий

Еколого-економічний ефект	Екологічні податки на продукцію сільського господарства	Диференційована податкова система	Система стимулів при трансформації процесу виробництва агропродукції
Вплив на поведінку споживачів	Високий стимул до переорієнтації на не обтяжуючі екологічним податком товари	Залежить від того, як забезпечується відшкодування екологічного податку. Якщо виробники стикаються з високими витратами, пов'язаними з функціонуванням загальної податкової системи, може призвести до підвищення цін	Незначний
Витрати виробників	Втрата ринків у зв'язку з переорієнтацією	Значне ускладнення процесу стягнення та подальшого повернення податку	Потенційно високий, за умови високого цільового показника згідно з умовами
Витрати для споживачів	Стягнення додаткових податків	Зменшення можливих додаткових фінансових витрат	Можливі незручності для суб'єкта господарювання залежно від того, як працює система

Примітка: сформовано авторами.

наявності фактичних показників загальної економічної системи країни, а не лише аграрного сектору. Багато в чому функціонування (і ефект) зазначених важелів залежить також від інституційного середовища країни: формального та неформального (суспільні процеси, рівень корупції тощо) [12]. Однак із точки зору повноцінної доцільності цих ефектів, варто також розглянути додаткові інструменти-стимули для переходу на екологічно безпечне сільське господарство (рис. 2).

Щодо допоміжного інструмента у вигляді *субсидій*, то в практиці багатьох країн

зіштовхнулися з проблемою, де виробництво та споживання у низці екологічно пріоритетних областей сильно спотворюються екологічно шкідливими субсидіями. Останні стають «негативними податками», заохочуючи виробництво та споживання товарів, що надають несприятливу дію на навколишнє середовище, тоді як екологічні податки покликані стримати таку поведінку. Результат виявляється зворотним до очікуваного: величезні зусилля держави зі створення нових інструментів екологічної політики підриваються субсидіями, які мають прямо протилежну дію.

Визнавши існування такої проблеми, багато країн дійшли думки, що скасування необґрунтованих субсидій та податкових знижок, що завдають шкоди навколишньому середовищу, є необхідною передумовою для впровадження ефективних екологічних податків та регулювання. Особливо актуально це буде відображатися в Україні в післявоєнний період, коли питання відновлення ресурсів агросфери буде розглядатися на рівні кожного окремого суб'єкта господарювання також. Другий крок —



Рис. 2. Інструменти-стимули в межах екологічної політики держави

Примітка: розроблено авторами.

це реформа чинних податків на енергію, аби вони повніше відображали екологічні аспекти виробництва та споживання в сільському господарстві. Введення нових інструментів щодо екологічно безпечних товарів стане третім кроком, який слід робити лише після того, як буде вичерпано потенціал реформи існуючих субсидій та чинної податкової системи.

Стандарти на сільськогосподарську продукцію. Стандарти на продукцію можливо використовувати для впливу на екологічні наслідки споживання шляхом встановлення вимог до реалізованих товарів, що знижує їх вплив на навколишнє середовище.

Стандарти на продукцію можуть посилювати дію, яка здійснюється податками на товари, покликані переорієнтувати попит на менш екологічно шкідливі альтернативи. Наприклад, стандарти продукції, які зобов'язують виробників пропонувати у межах своєї товарної номенклатури менш екологічно шкідливі товари, забезпечують споживачам більший вибір, після чого, у вигляді податкових стимулів, можна переорієнтувати споживачів на менш екологічно шкідливі товари. Податки також можна використовувати для посилення впливу, який здійснюється стандартами на продукцію, завдяки прискоренню темпів та збільшенню масштабів переорієнтації споживачів на менш екологічно шкідливі товари.

Екологічне маркування. Маркування продукції посилює дію диференціації екологічних податків, особливо коли споживачі екологічно свідомі, заохочуючи переорієнтацію на менш екологічно шкідливі товари. Цей інструмент вказує на товари щодо яких діє податкова пільга, яка допомагає споживачам зрозуміти, чим зумовлена різниця у ціні. У разі наявності екологічно свідомих споживачів, оподаткування у поєднанні з екологічним маркуванням є більш дієвим способом переорієнтації споживачів, аніж лише оподаткування. У деяких країнах розробники екологічної політики дуже зацікавлені у здатності маркування «підштовхувати» споживачів до екологізації споживання.

Додатково наголошуючи про екологічне маркування варто звернути увагу на такий чинник як вибір альтернатив. Споживачеві доводиться обирати певні критерії, за якими слід проводити оцінку, а також об'єднувати сприйняття цих критеріїв зі своєю суб'єктивною думкою про продукт або своє ставлення щодо привабливості кожної альтернативи продукту. Критерії, які використовуватиме споживач для оцінки альтернатив, будуть залежати певною мірою від самого товару, що оцінюється. Однак є ще один критерій, який відіграє вагомую роль під час ухвалення рішення про покупку органічних харчових продуктів — це наявність певної «гарантії». Тобто певні факти, що надають цінність споживачам, полегшуючи обробку інформації, зменшуючи ризик покупки і збільшуючи впевненість споживачів у рішенні при оцінці альтернатив. До того ж можна виділити кілька типів гарантії.

Перший тип — фірмовий знак, який вказує на виробника продуктів, і може в принципі бути відповідальним за погану якість.

Другий тип — впізнана і загально-визнана марка. Водночас у цьому випадку варто говорити про маркування не тільки пов'язаних із сертифікацією продукту, але і за таких обставин органічне підприємство виконує соціально-етичну роль у суспільстві.

Третій тип гарантії — регіональне походження продукту, що є досить актуальним саме при виробництві екологічних товарів, оскільки більшість споживачів мають асоціативне відношення до низки територій, які, на їхню думку, ніколи не можуть слугувати гарантом виробництва екологічно безпечної продукції. Однак необхідно також врахувати, що споживачі при сприятливій екологічній обстановці в регіоні, більше обирають продовольчі продукти своєї власної країни (регіону), аніж продукти інших країн.

У цьому разі варто зазначити, що на сьогодні існують у світі певні регіональні маркування, які законодавчо закріплюють приналежність товару до того чи іншого

регіону. Зокрема, декілька таких маркувань регулюється в межах захищеного географічного статусу (PGS), структура якого визначена в законі Європейського Союзу з метою захисту назви регіональних продуктів.

І, враховуючи той факт, що реалізація екологічно безпечних продуктів у сільському господарстві здійснюється переважно способом роздрібної торгівлі, наявність такої регіональної торгової марки для представників цієї сфери є перевагою в питанні полегшеного доступу до такої продукції, що створює можливість більш краще для споживача відрізнити цей товар від конкурента-аналога в місцях продажу, що, безумовно, слугує підвищенням престижу окремого представника роздрібної торгівлі у сприйнятті споживачів.

Однак, додати значимість товару шляхом вказівки гарантії країни походження буде складніше, оскільки розуміння і асоціації з певним регіоном будуть, як правило, більш обмеженими (особливо, якщо продукт продається за межами країни-виробника).

У підсумку, відповідно до теорії користності, буде обрана та альтернатива продукту, ставлення до якої є позитивним. Однак існує кілька чинників, які послаблюють зв'язок між ставленням і поведінковим вибором у контексті продовольчих продуктів. Отже, можна констатувати, що при оцінці поведінки споживача необхідно звернути увагу на специфіку всіх зазначених чинників під час прийняття рішення про покупку і акцентуватись на певному когнітивному ефекті, яке відображає явні та приховані потреби покупців [13; 14].

Тому, на нашу думку, в межах загальної екологічної політики на ринках екологічно безпечної продукції варто враховувати вплив трьох ключових чинників: особистісні цінності, сприйняття інформації, сенсорне сприйняття. Це дає можливість формувати культуру споживання, яка не суперечить цілеспрямованому процесу реалізації екологічного маркетингу, з огляду на тріади цілей: соціальних, екологічних, економічних (рис. 3).

За цієї системи ціннісний аспект є найважливішим чинником, який визначає мотивацію індивіда тобто пізнавальну активність суб'єкта по пізнанню життя і поставлених у ньому цілей. В основі такої мотивації лежать також цінності споживачів. А система цінностей полягає в аналізі структури потреб індивіда і сегментування ринків. Слід зазначити, що новизна товару може здійснювати стимулювальний ефект і на основі цього мати певну цінність. Саме товар-новинка надає особливо сильний стимулювальний ефект (зокрема, екологічність його походження) і приносить особливе задоволення, коли викликає здивування, відчуття змін тощо.

Що стосується сприйняття інформації, то в це поняття включено освоєння та запам'ятовування інформації.



Рис. 3. Система споживчої поведінки на основі когнітивного підходу

Примітка: розроблено авторами.

Основним завданням інформаційної обізнаності, з точки зору екологічної політики, є соціальний розвиток індивіда і спонукання його до дій (або відмову від них). Щодо сенсорного сприйняття, то цей елемент системи передбачає, що рішення про вибір товару приймається не тільки раціональним (економічним) шляхом, але і ірраціональним (емпіричним). З точки зору останнього, фокус уваги переноситься на емпіричні переживання покупців: попередній досвід, з одного боку, і емоційні стани — з іншого.

Отже, один із ключових чинників, що формують поведінкові важелі в екологічній політиці, а відтак ставлення окремого індивіда до кожного окремого суб'єкта господарювання, який здійснює трансформацію на екологічно безпечне виробництво (або вже здійснив) є інформаційне забезпечення як з боку підприємства через взаємодію зі споживачем, так і з боку держави.

ВИСНОВКИ

Підсумовуючи результати, здійсненого в цій статті дослідження, треба зазначити, що Україна наразі перебуває на початковій стадії досягнення власних цілей екологічної політики. Розглянуті в цій праці важелі та запропоновані альтернативні впливи можуть слугувати одним із допоміжних елементів в якості еколого-економічного протекціонізму держави.

З метою якісного виконання поставлених цілей екологічної політики були запропоновані такі допоміжні інструменти,

як субсидіювання, стандартизація та екологічне маркування. Щодо субсидіювання, то Україні необхідно враховувати досвід передових країн, де важливою проблемою є контроль та безпосередній механізм надання субсидій для дійсно екологічних підприємств, а не тих, які лише декларують власну «екологічність».

У частині стандартизації сучасне українське сільське господарство має низку прогалин та недоліків, які потребують удосконалення та вирішення. Зокрема, в частині більш жорсткіших вимог до продукції, яка поставляється на ринки з метою недопущення появи на них недобросовісних гравців, і не пропонувати споживачам низькоякісну продукцію. Сільськогосподарські угіддя, природні ресурси, які продовжують страждати від військових дій потребуватимуть саме жорстких вимог для виробників, якщо ставиться за мету їх відновлення в майбутньому.

Однією із головних проблем для подальшого вивчення і розв'язання залишається інформаційне забезпечення та екологічне просвітництво соціума. Ще до початку повномасштабного вторгнення з боку Росії, в Україні існував сегмент, який вважає себе суб'єктом нероздільно пов'язаний із природними ресурсами. Однак у післявоєнний період, відновлення ресурсів потребуватиме не лише удосконалення законодавчої бази, значних фінансових ресурсів, а й потужної інформаційно-просвітницької діяльності щодо дбайливого ставлення до власних ресурсів агросфери.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андрейцев В.І. *Сучасні проблеми адаптації екологічного законодавства України до законодавства ЄС*: матеріали Всеукр. наук.-практ. круглого столу (м. Дніпро, 28 жовт. 2016 р.). Дніпро. 2016. С. 20–47.
2. Буркинський Б.В. Екологічно чисте виробництво: Наукові засади впровадження та розвитку. *Вісник НАН України*. 2006. № 5. С. 11–17.
3. Веклич О.О. Сучасні тенденції фінансового забезпечення природоохоронної діяльності в Україні. *Фінанси України*. 2009. № 11. С. 26–32.
4. Галушкіна Т.П., Качаровська Л.М. Екологічна політика як складова державної регіональної політики. *Вісник Хмельницького інституту регіонального управління та права*. 2003. № 2 (6). С. 216–220.
5. Ковтун В.А. Сталій розвиток аграрної сфери України: стан, проблеми та перспективи. *Публічне управління та адміністрування у процесах економічних реформ*: матеріали Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф. м. Херсон: ДВНЗ «ХДАУ», 2017. С. 332–334.
6. Федчак О.М. Збори за забруднення довкілля як основне джерело фінансування природоохоронних заходів. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. Сер.: Економіка. 2007. № 4. С. 342–353.
7. Аграрний сектор України на шляху до євроінтег-

- рації: моногр. / за ред. О.М. Бородині. Ужгород: ІВА, 2006. 496 с.
8. Волинець В. Екологічна функція в системі функцій сучасної держави: проблеми правового забезпечення в Україні. *Юридична Україна*. 2012. № 11. С. 4–11.
 9. Дребот О.І., Добряк Д.С., Мельник П.П. Наукові основи економічного регулювання раціонального сільськогосподарського землекористування. *Збалансоване природокористування*. 2022. № 2. С. 5–8.
 10. Глуха В. Актуальні проблеми та перспективи державної екологічної політики України. *Актуальні проблеми державного управління*. 2016. № 1 (49). С. 1–4.
 11. Гуменюк М.М. Удосконалення організаційно-економічного механізму забезпечення ефективності сільськогосподарських підприємств. *Ефективна економіка*. 2013. № 12. С. 34–38.
 12. Погрішук Б.В. Біоресурсні передумови ефективного розвитку аграрного сектора економіки. *Вісник ХНАУ ім. В.В. Докучаєва. Сер.: Економічні науки*. 2015. № 5. С. 44–53.
 13. Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики на період до 2030 року: Закон України від 28 лютого 2019 р. № 2697-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19>.
 14. Фурдичко О.І. Сталий розвиток аграрного сектора економіки на засадах раціонального природокористування. *Економіст*. 2011. № 10. С. 6–8.

REFERENCES

1. Andreytsev, V.I. (2016). Suchasni problemy adaptatsiyi ekolohichnoho zakonodavstva Ukrayiny do zakonodavstva YES [Modern problems of adaptation of environmental legislation of Ukraine to EU legislation]. *Materialy Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoho kruhloho stolu [Materials of the All-Ukrainian science and practice round table]*. (pp. 20–47). Dnipro [in Ukrainian].
2. Burkinsky, B.V. (2006). Ekolohichno chyste vyrobnytstvo: Naukovi zasady vprovadzhenya ta rozvytku [Ecologically clean production: Scientific principles of implementation and development]. *Visnyk NAN Ukrayiny — Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 5, 11–17 [in Ukrainian].
3. Veklych, O.O. (2009). Suchasni tendentsiyi finansovoho zabezpechennya pryrodookhoronnoyi diyalnosti v Ukrayini [Modern trends in financial support of environmental protection activities in Ukraine]. *Finansy Ukrayiny — Finances of Ukraine*, 11, 26–32 [in Ukrainian].
4. Galushkina, T.P. & Kacharovska, L.M. (2003). Ekolohichna polityka yak skladova derzhavnoyi rehionalnoyi polityky [Environmental policy as a component of state regional policy]. *Visnyk Khmel'nyts'koho instytutu rehional'noho upravlinnya ta prava — Bulletin of the Khmelnytskyi Institute of Regional Management and Law*, 2 (6), 216–220 [in Ukrainian].
5. Kovtun, V.A. (2017). Stalyy rozvytok ahrarynoyi sfery Ukrayiny: stan, problemy ta perspektyvy [Sustainable development of the agrarian sphere of Ukraine: state, problems and prospects]. *Publichne upravlinnya ta administruvannya u protsesakh ekonomichnykh reform: materialy Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi Internet-konferentsiyi [Public management and administration in the process of economic reforms: materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference]*. (pp. 332–334). Kherson [in Ukrainian].
6. Fedchuk, O.M. (2007). Zbory za zabrudnennya dovkilliya yak osnovne dzherelo finansuvannya pryrodookhoronnykh zakhodiv [Fees for environmental pollution as the main source of financing environmental protection measures]. *Visnyk Natsional'noho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. Seriya: Ekonomika — Bulletin of the National University of Water Management and Nature Management. Series: Economy*, 4, 342–353 [in Ukrainian].
7. Borodina, O.M. (Ed.) (2006). *Ahrarynyy sektor Ukrayiny na shlyakhu do yevrointehratsiyi: monohrafiya [Agrarian sector of Ukraine on the way to European integration: monograph]*. Uzhhorod: IBA [in Ukrainian].
8. Volynets, V. (2012). Ekolohichna funktsiya v systemi funktsiy suchasnoyi derzhavy: problemy pravovoho zabezpechennya v Ukrayini [Ecological function in the system of functions of the modern state: problems of legal support in Ukraine]. *Yurydychna Ukrayina — Legal Ukraine*, 11, 4–11 [in Ukrainian].
9. Drebot, O.I., Dobryak, D.S. & Melnyk, P.P. (2022). Naukovi osnovy ekonomichnoho rehulyuvannya ratsional'noho silskohospodars'koho zemlekorystuvannya [Scientific foundations of economic regulation of rational agricultural land use]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannya — Balanced nature management*, 2, 5–8 [in Ukrainian].
10. Gluha, V. (2016). Aktualni problemy ta perspektyvy derzhavnoyi ekolohichnoyi polityky Ukrayiny [Actual problems and prospects of the state environmental policy of Ukraine]. *Aktual'ni problemy derzhavnoho upravlinnya — Actual problems of public administration*, 1 (49), 1–4 [in Ukrainian].
11. Humeniuk, M.M. (2013). Udokonalennya orhanyzatsiyino-ekonomichnoho mekhanizmu zabezpechennya efektyvnosti sil's'kohospodars'kykh pidpryemstv [Improvement of the organizational and economic mechanism of ensuring the efficiency of agricultural enterprise]. *Efektivna ekonomika — Efficient economy*, 12, 34–38 [in Ukrainian].
12. Poghrischuk, B.V. (2015). Bioresursni peredumovy efektyvnoho rozvytku ahrarynoho sektora ekonomiky [Bioresource prerequisites for effective development of the agrarian sector of the economy]. *Visnyk KHNAU im. V.V. Dokuchayeva. Seriya: Ekonomichni nauky — Bulletin of the KHNAU named after V.V. Dokuchaeva. Series: Economic Sciences*, 5, 44–53 [in Ukrainian].

13. Pro Osnovni zasady (strategiiu) derzhavnoi ekolohichnoi polityky Ukrainy na period do 2030 roku: Zakon Ukrainy vid 28.02.2019, № 2697-VIII [On the Basic principles (strategy) of the state environmental policy of Ukraine for the period until 2030: Law of Ukraine from 28.02.2019, № 2697-VIII]. (2019). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19> [in Ukrainian].
14. Furdychko, O.I. (2011). Stalyy rozvytok ahrarnoho sektora ekonomiky na zasadakh ratsionalnoho pryrodokorystuvannya [Sustainable development of the agrarian sector of the economy on the basis of rational nature management]. *Ekonomist — Economist*, 10, 6–8 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 20.02.2024

ПЕРСПЕКТИВИ ФОРМУВАННЯ ЛІСОПАСОВИЩНИХ СИСТЕМ: ДОСВІД ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ ДЛЯ УКРАЇНИ

О.В. Тертична¹, Г.І. Рябуха², К.М. Кудряшова²,
Л.А. Шевченко², Н.В. Мірошник³

¹ Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: olyater@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9514-2858

² Національний університет «Чернігівська політехніка» (м. Чернігів, Україна)
e-mail: g.ryabukha@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2146-7489
e-mail: Katrinchernigov@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5626-0958
e-mail: shevchenkolyubov@ukr.net; ORCID: 0000-0002-2637-1999

³ ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України» (м. Київ, Україна)
³ Науково-дослідний інститут сталого розвитку (м. Потсдам, Німеччина)
e-mail: natalie.miroshnik@outlook.com; ORCID: 0000-0003-3507-6585

У статті досліджено концептуальні основи агролісомеліораційних систем, зокрема, їх пріоритетність і перспективність для розвитку відновлювального сільського господарства в Україні та ЄС. Висвітлено типи агролісомеліорації та визначено її роль у протидії ґрунтовій ерозії, збільшенню біорізноманіття та поглинанню вуглецю. Соціально-економічна цінність запровадження, підтримання, стабілізації та розширення практики лісопасовищних систем не викликає сумніву з точки зору надання екосистемних послуг і оцінки ризиків. Вивчено досвід європейських країн та виявлено екологічні, соціальні й економічні переваги успішної реалізації лісопасовищних практик. На прикладі традиційної агролісопасовищної системи регіону фермерства й скотарства в Португалії вивчено досвід гармонійного вирощування дерев та випасання корів, овець, кіз і свиней. Досліджено способи взаємодії дерев та інших рослин і худоби, обґрунтовано можливість впровадження аналогічних керованих систем сільського господарства в Україні. Аргументовано необхідність раціонального управління такими територіями. Проаналізовано переваги та недоліки лісових пасовищ, запропоновано заходи щодо їх догляду й поліпшення функціонування. Зокрема, для лісопасовищних систем Українських Карпат необхідною є інтеграція літніх, сезонних випасів великої рогатої худоби, овець і кіз на полонинах для підтримки поступового відродження полонинського господарства. Доведено необхідність ґрунтозахисного, водорегуляційного та кліматотворного відтворення Карпатського регіону, беручи до уваги зміни просторової структури, продуктивності та особливостей сучасного стану. Охарактеризовано соціальну цінність й економічну ефективність впровадження лісопасовищних систем як невід'ємного природоорієнтованого рішення, яке набуває свого поширення на європейському і світовому рівні та є влучним прикладом екологічного напряму збалансованого (сталого) розвитку. Окреслено важливість лісопасовищних систем для зменшення змін клімату, покращання біорізноманіття й інших екосистемних послуг, економічного розвитку агровиробництва та сільських регіонів, збереження національної культурної спадщини, автентичності ландшафтів, що вкрай актуально для соціального розвитку українського суспільства.

Ключові слова: збалансований розвиток, регенеративні стратегії, лісові екосистеми, біорізноманіття, фітоценоз, тварини.

ВСТУП

Наразі дедалі більшої актуальності для світової наукової спільноти, аграріїв і споживачів набуває зацікавленість до регенеративного сільського господарства.

Таку тенденцію можна пояснити забезпеченням еколого-економічної та продовольчої безпеки, зростаючим попитом на екобезпечну продукцію, орієнтацією на впровадження принципів регенеративної економіки [1]. Важливу роль в отриманні високобілкової продукції для населення

відіграє тваринництво. Одним із принципів відновлювального агровиробництва є спрямування на максимальну інтеграцію тварин із використанням практики ротаційного випасу. Для організації регенеративного випасу важливим є складання плану з визначенням всіх етапів організації та управління, їх пріоритетності й черговості, з метою досягнення запланованих результатів. Лісопасовище — одна з найдавніших відомих форм сільського господарства. Для отримання лісової продукції та корму з однієї лісопасовищної ділянки використовують навмисне поєднання випасу худоби у лісових екосистемах. Такий дуалізм забезпечує не тільки довгостроковий дохід, але й короткостроковий прибуток. Соціально-економічна цінність запровадження, підтримання, стабілізації та розширення практики лісопасовищних систем не викликає сумніву з точки зору надання екосистемних послуг і оцінки ризиків.

Метою досліджень був аналіз, порівняння та узагальнення основних принципів формування та утримання лісопасовищних систем у країнах Євросоюзу для запровадження цього досвіду в Україні.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Аналіз джерел та законодавчих ініціатив із вивчення цього питання свідчить, що Європейський парламент визнав переваги агролісомеліорації у кількох резолюціях і закликав до більш ефективної підтримки цілої низки методів сталого виробництва, включаючи агролісівництво [2]. Диверсифікація місцевого виробництва може принести користь усій сільській громаді, стимулюючи місцеву економіку, зокрема створюючи робочі місця та кращі умови для життя фермерів. Агролісівництво може надати можливості для відпочинку, як-от полювання, риболовля, верхова їзда, катання на гірських велосипедах, спостереження за дикою природою та сільський туризм, які приносять користь широкій громадськості й забезпечують диверсифікацію доходів землевласників. Спільна

сільськогосподарська політика (*Common Agricultural Policy — CAP*) підтримує агролісівництво та визначає принципи та заходи його впровадження на рівні ЄС [3]. Визнаною вченою в галузі агрономії та лісового господарювання Maria Rosa Mosquera-Losada досліджувалося агролісове виробництво, агроекосистеми та їх роль у сталому розвитку [4; 5]. Mosquera-Losada M.R. із співавт. запропоновано виплачувати фермерам прямі виплати за гектар землі під агролісомеліорацію, а також кошти для створення і підтримки систем агролісомеліорації у рамках напряду сільського розвитку CAP. На думку Steve G., Graves A. та ін. [6; 7], часте переміщення худоби між трав'яними пасовищами дає можливість рослинам час для регенерації або випас на покривних культурах. Дослідження показали, що на сільськогосподарських землях із ротаційним випасом виробляють більше вегетативної маси рослин на гектар, ґрунт краще утримує воду та значно підвищується його родючість. Такі системи випасу збільшують біорізноманіття рослин, комах та тварин в агроландшафтах, сприяють відновленню екосистем і біотопів, збалансованому управлінню [8]. Питання формування лісопасовищ в Україні недостатньо досліджено та потребують більш поглибленого вивчення.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для вивчення задекларованої проблеми застосовано загальнонаукові та спеціальні методи. Системний аналіз — для оцінювання розвитку регенеративного сільського господарства; порівняльний аналіз, емпіричний та функціональний підходи, інформаційно-бібліографічний метод для дослідження пріоритетних тенденцій у впровадженні лісопасовищних угідь. Їх використання дало можливість комплексно розглянути складові елементи вивчення тематики. Категорійно-понятійний апарат досліджували з використанням пошукової системи Web of Science, що дало змогу зорієнтуватися у зв'язках між термінами та поняттями. Для формування висновків

використано порівняльний аналіз та узагальнення.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

ФАО розглядає три основні типи агролісівництва: лісопасовищне, орне-лісове та агролісопасовищне (поєднання тварин, дерев і сільськогосподарських культур). Лісове пасовище — це практика інтеграції дерев, корму та випасу домашніх тварин у взаємовигідний спосіб [8; 9].

Лісопасовищні угіддя (*silvopastoral*) — сумісне вирощування дерев і кормових трав на пасовищах (сінокосах) чи фуражних культур у міжрядях алей дерев чи їх біогруп. Позитивними наслідками такого поєднання є захист ґрунту від ерозії, покращання показників якості води, збільшення біорізноманіття. Негативні наслідки зміни клімату, а саме: підвищення температури, нерівномірність опадів, екстремальні погодні явища, можуть бути знівелювані за рахунок висадки деревних порід на пасовищах, що сприяють збереженню вуглецю в ґрунтах та біомасі і поглинанню оксиду вуглецю з повітря. Інтеграція дерев у пасовища забезпечує комфортніші умови для худоби (захист тварин від вітру, спеки, що зменшує смертність молодняку при їх відкритому утриманні).

За умов орно-лісового агролісівництва (*silvoarable agroforestry*) сільськогосподарські або садові культури вирощують одночасно з багаторічними деревними культурами, щоб забезпечити річний прибуток, поки дерева дозрівають. Деревя вирощують рядами з широкими алеями між ними для культивування сільськогосподарських культур.

Агролісопасовищні системи — це вид землекористування, за якого дерева та сільськогосподарські культури інтегрують у тваринництво. Системи агролісомеліорації, які є стійкими та багатофункціональними, забезпечують багато екологічних переваг. Вони сприяють адаптації та пом'якшенню наслідків змін клімату, захищають ґрунт, зменшують ерозію, збільшують біорізноманіття (створюють і зберігають оселища існування біоти), покращують загальний стан ландшафтів. Лісопасовища поглинають у 5–10 разів більше вуглецю, ніж звичайні пасовища [9]. Вони також є корисними для місцевої сільської економіки, оскільки ці покращені ландшафти пропонують можливості для культури та відпочинку. Переваги лісопасовищного агролісівництва представлено на *рис. 1*.

Крім того, фермери, які займаються агролісомеліорацією, можуть диверсифі-

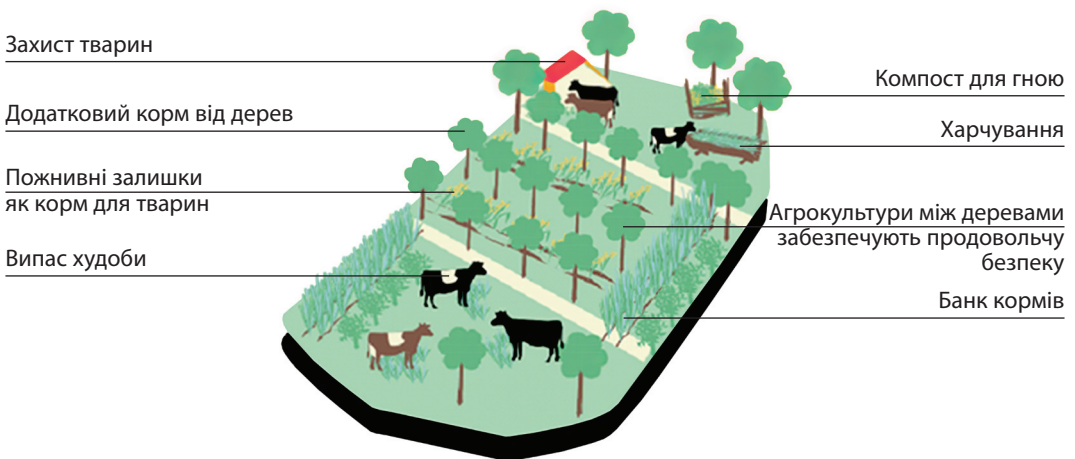


Рис. 1. Використання лісової компоненти у сільськогосподарському виробництві і тваринництві [10]

кувати своє виробництво, знизити деякі витрати й досягти вищої продуктивності та прибутків, що покращує соціальну захищеність, сприяє соціальній стабільності у сільській місцевості, сталому розвитку. Однак агролісомеліорація зазвичай є більш складною та наукомісткою, ніж звичайне сільське господарство.

При адаптивному, ротаційному випасі великі пасовища розділяють на менші загоны, і тварин по чергово випасають у них. Коли тварини пасуться у своєму новому загоні, природні кормові трави відростають у попередньому. Перевагою ротаційного випасу є те, що тварини повертаються до загонів уже тоді, коли трави встигають відрости. Під час з'їдання 50% трав'яного покриву, коріння не припиняє ріст, за 70% – 50% коріння припиняє ріст на 17 днів, 90% – 100% коріння припиняє ріст на 30 днів. Також за з'їдання до 50% трав'яного ярусу ґрунтовий покрив швидше відновлюється [11]. Лісовопасовища є найважливішою практикою агролісомеліорації Європи, охоплюючи до 37% земель у її деяких регіонах. Лісовопасовища переважно розташовані в Естремадурі, Ла Ріоха, Балеарських островах і Андалусії в Іспанії, Сардинії в Італії, Португалії та Греції. У південній частині ЄС, у середземноморському кліматі, агролісомеліорація *Quercus suber* L. та *Quercus ilex* L. практикується на площі близько 7 млн га в Іспанії, Португалії та Греції, і меншою мірою в Італії. Яскравими прикладами є лісовопасовища площею 3,6 млн га в Іспанії та 1,1 млн га в Португалії [12]. Цікавим та корисним є досвід традиційної агролісовопасовищної системи в Португалії, у горах Серра-да-Ештрела, яка поширена переважно в південно-східному регіоні Алентежу, найважливіший регіон для фермерства та традиційний скотарський регіон. У цьому історико-культурному ландшафті між нещільно посадженими вічнозеленими дубами (переважно корковими *Quercus suber* L.) пасеться худоба. Корів, овець, свиней або кіз (автохтонної породи *Serpantina*) вирощують екстенсивно, тварини харчуються травою та іншою рослинністю. Деревя та

інші рослини і худоба знаходяться у контрольованій людиною взаємодії. Третина світових угідь коркових дубів зосереджена саме у Португалії. Коркові діброви займають площу 23% площі усіх лісів країни. Португалія – світовий лідер із переробки, виробництва та експорту товарів, що виготовлені з кори дуба. За даними португальської асоціації роботодавців коркового сектору, було експортовано коркової продукції у 2019 р. на суму 986 млн євро (близько 50% світового виробництва) до 130 країн світу. Основною продукцією, отриманою від дерев, є жолуді та пробка, яка видобувається з інтервалом не менше дев'яти років. Це дає змогу деревам відновлювати свій корковий шар та не завдає значної шкоди їхньому зростанню, загалом зберігати екосистему та забезпечувати сталість використання цього природного ресурсу [13]. Продукція з аналогічної лісовопасовищної системи, як Dehesa, Монтадо включає зернові культури, фураж, м'ясо, сир, дрова, деревне вугілля, гриби, мед і лікарські рослини. Така запроваджена система забезпечує багато екосистемних послуг, таких як: утримання води, збереження ґрунту та вуглецю. Характерним для неї є високий рівень біорізноманіття, що забезпечує середовище існування та ресурси для багатьох видів біоти. Також сприяє розвитку місцевої сільської економіки та сталому веденню сільського господарства.

До початку ХХ ст. в Україні була розроблена система лісівництва, яка базувалася на принципах сталого використання, або безперервного і невиснажливого користування лісами. Іншими словами, кожна лісова екосистема розподілялася залежно від економічного призначення, враховуючи кінцевий результат їх вирощування. Це виправдано, оскільки будь-який біоценоз із деревно-чагарниковою рослинністю виконує функції захисту та природотворчості. Отже, лісівництво – це галузь рослинництва, постає як дуже важлива сфера економічної діяльності, з орієнтацією на агроекологічні принципи через використання земель для збереження екологічної рівноваги й охорони довкілля на рівнях

регіонів та держави. Агроекологічний підхід у лісівництві може стати пріоритетним джерелом для оптимізації землекористування з метою підвищення продуктивності земельних угідь, зберігання екологічного балансу, структури й стану аграрних та лісових екосистем. Окрім того, в Україні слід перейти від попереднього підходу до управління лісівництвом, де держава централізовано відповідала за господарювання підприємствами, на ідентифіковане управління від суб'єктів господарювання, засновано на еколого-економічних показниках стану земель, а також результатів їх використання, охорони і раціонального використання ґрунтів та навколишнього природного середовища [14].

В Україні лісопасовища є одним із компонентів лісового господарства і виконують низку функцій, а саме: забезпечують місця для випасання худоби, що є важливою частиною сільськогосподарської діяльності; зберігають біорізноманіття, допомагаючи утримувати життєвий простір для видів рослин і тварин; сприяють збереженню ґрунтового покриву, регулюючи вплив ерозії та забезпечуючи стійкість лісових екосистем. Урожайність їх невисока (18–25 ц/га зеленої маси), внаслідок чого тварини нерідко поїдають і чагарниковий ярус. З огляду на це, лісові галявини, які заросли чагарником, завалені вітроламом, треба розчищати, вдаючись до вирубування і санітарного догляду. У результаті цього галявина освітлюється, краще ростуть злакові і бобові трави, утворюється лучний травостій, поліпшується водно-повітряний режим. Його врожайність підвищується у 3–5 разів. Такі лісові освітлені пасовищні ділянки прийнято називати лісопарковими. Вони поділяються на три типи: розкидані з рівномірно розрідженим деревостаном (не більш як 1000 дерев родів *Pinus*, 600 дерев *Quercus* або *Betula* на 1 га); куртинні, де галявини чергуються з ділянками лісу; кулісні — смуги лісу 20–30 м завширшки чергуються з прямокутними галявинами, завширшки 60–80 м. Після очищення й освітлення на них насівають і підсівають трави [15].

Згідно з п. 40 «Порядку заготівлі другорядних лісових матеріалів і здійснення побічних лісових користувань в лісах України», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23.04.1996 р. № 449 [16] випасання худоби, за винятком кіз, дозволяється на вкритих і не вкритих лісовою рослинністю землях лісового фонду, якщо це не завдає їм шкоди. Щоб використовувати ліс таким чином, потрібно отримати лісовий квиток, де вказано місця і терміни випасання худоби. Випасання худоби заборонено:

- у державних захисних і полезахисних лісових смугах, протиерозійних лісах, особливо цінних лісових масивах, лісах зон санітарної охорони джерел водопостачання, лісах санітарної охорони лікувально-оздоровчих територій та інших категорій захисності лісів, де це передбачено законодавчими актами;
- на площах лісових культур, природних молодяків і у насадженнях із наявністю життєздатного підросту — до досягнення ними висоти, коли вершини не пошкоджуються тваринами, на лісонасінневих та інших плантаціях, а також ділянках, де проводяться заходи сприяння природному поновленню лісів;
- на зрубках та інших не вкритих лісовою рослинністю землях, призначених для природного відновлення лісів;
- на площах із легкорозмивними та легкорозвіюваними ґрунтами та у місцях масового зростання ягідників і грибів;
- без пастуха, за винятком випасання на огорожених ділянках, або на прив'язі; з використанням собак;
- за рішенням місцевих органів державної виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, в межах їх компетенції, можуть передбачатись також інші обмеження випасання худоби в лісах [16].

Законодавчі, управлінські, територіальні та екологічні аспекти формування лісопасовищних систем в Україні узагальнено на *рис. 2*.

Слід зазначити, що потрібно обмежити такий вид лісокористування на території України у водно-болотних угіддях та лис-



Рис. 2. Структурно-логічна схема формування лісопасовищних систем в Україні

Примітка: сформовано авторами.

тятих лісах старших вікових груп листяних лісах, для зменшення негативних наслідків надмірного впливу та порушення природної сукцесії. Задля створення кормової бази, яка включає в себе бобові трави, різнотрав'я, дерева, призначені для худоби, необхідно прорідити дерева в лісі. На пасовищі потрібно висадити дерева так, щоб вони не блокували занадто багато світла. Деревця можна висаджувати рядами, групами або рівномірно у формі саду. Швидкозростаючі види, як-от *Robinia pseudoacacia* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth., *Salix* L., *Populus* L. мають перевагу, оскільки вони швидко минають фазу, коли їх можуть пошкодити тварини. Важлива умова лісопасовищної системи: тварини мають завжди перебувати у ротачії. Цей принцип є одним із ключових на лісопасовищах. Деревця мають відповідати типу ґрунту і мікроклімату та виконувати декілька функцій. Кормам та фуражу належить бути різноманітними та

підтримувати стійку кормову базу для тварин. Одна з найбільш вигідних перспектив у лісопасовищі — це можливість створення різних типів взаємовідносин між деревами і тваринами, що дає можливість тваринам мати більш різноманітну та здорову дієту замість занадто спрощених «традиційних» систем вирощування худоби. Крім того, урізноманітнення кормової бази зменшує кошти на закупівлю кормів і є додатковою «подушкою безпеки» під час тривалих посух чи надмірних дощів. Висадка дерев на пасовищах, де це доцільно, чи створення пасовищ під деревними насадженнями може допомогти зменшити викиди парникових газів від сільського господарства, а також сприяти поглиннанню й збереженню вуглецю у ґрунтах та біомасі. Різноманітні наслідки зміни клімату (нерівномірність опадів, збільшення температури, екстремальні погодні явища) також можуть бути пом'якшені за допомогою інтеграції дерев

у пасовища. Втрата видового та ландшафтного біорізноманіття (особливо в Україні через великі площі орних земель) також може бути зменшена, оскільки дерева є прихистком для птахів, комах, тварин у інтенсивно оброблюваних агроландшафтах.

Важливим етапом є вдосконалення існуючої інфраструктури. Для цього огорожі, загони, джерела води (ставки і водопроводи), дороги та інші споруди ідентифікують, картографують та використовують. Ці заходи допомагають визначити території для кращого управління та удосконалення їх використання. Для забезпечення більшої щільності поголів'я, яке зазвичай використовують під час регенераційного випасу, потрібно більше тимчасових огорож. Лісопасовищні системи в Україні, зокрема, у Карпатському регіоні — це давня соціокультурна традиція, яка має багаторічну практику та свої традиційні ефективні напрацювання. Вона сформувалася впродовж багатьох сторіч і є невід'ємною частиною способу життя населення Українських Карпат, що є важливим для збереження автентичності і культурної спадщини, унікальних напівприродних екосистем Українських Карпат.

Отже, лісопасовищні системи сприяють не тільки зменшенню змін клімату, покращанню біорізноманіття та іншим екосистемним послугам, економічному розвитку агровиробництва й сільських регіонів, а і збереженню національної культурної спадщини, автентичності ландшафтів, що вкрай важливо для соціального розвитку суспільства України.

Встановлено, що характерним видом Карпатських полонин, що завжди з'являється у місці випасання свійських тварин, є нітрофіл щавель альпійський (*Rumex alpinus* L.) — рудерал, ясність і покриття якого є максимальними навколо кошар, а також нижче по схилу від розташованих господарських будівель. У минулому на деяких Карпатських полонинах були досить успішні спроби боротьби зі «щавою». Ця рослина має здатність до швидкого поширення на полонині, успішно конкуруючи з іншими, що зумовлює зменшен-

ня площ пасовищ, придатних для випасу. З огляду на низьку інтенсивність господарського використання ряду полонин, можна спостерігати деяке зменшення ділянок розростання щавлю альпійського, який поступово замінюється заростями малини, а пізніше поступово самозасивається смерекою [17; 18]. Враховуючи величезний потенціал Українських Карпат у гірських природних кормових угіддях, порівняно із іншими європейськими державами (близько 540 тис. га), від їх раціонального використання залежить ефективність сільськогосподарського виробництва регіону. Створення сіяних травостоїв із підвищеним вмістом бобових — один із найперспективніших напрямів інтенсифікації лукивництва. Збільшення використання бобових трав у лукивництві є найважливішим складником програми із провадження енергоощадних технологій за кордоном. Висівання бобово-злакової травосумішки з тимофіївки лучної, костриці лучної, грястиці збірної, конюшини лучної та лядвенцю рогатого у старосіяний травостій у перший рік продуктивного довголіття трав виявилось найбільш ефективним — умовно чистий прибуток сягав 3,58 тис. грн/га за рівня рентабельності виробництва 34,7% [19].

Визначення економічної користі і водночас оцінка шкоди довікллю пасторального та полонинського господарювання в Українських Карпатах потребує подальших досліджень. З огляду на контекст Карпатської конвенції, яку підписали сім країн Центральної та Східної Європи (Чехія, Угорщина, Польща, Румунія, Сербія, Словаччина та Україна) необхідно спрямувати зусилля на охорону і сталий розвиток Карпат, належне поведження з напівприродними середовищами існування, відтворення деградованих середовищ існування та підтримання, розробку й виконання відповідних планів управління [20; 21]. Серед важливих аспектів реалізації Протоколу про сталий розвиток сільського господарства та сільської місцевості до Рамкової конвенції про охорону та сталий розвиток Карпат є питання посилення інтеграції

екологічних аспектів, підвищення якості життя, зміцнення місцевої економіки та громад, збереження природних цінностей і культурної спадщини. Ці положення Протоколу мають особливе значення для високогірних регіонів Українських Карпат. Передусім у частині менеджменту пасторального господарства, яке є вагомим складовою економіки, культури і способу життя сільських громад у горах. В умовах Карпатського гірського регіону надзвичайно важливим елементом є організація літніх, сезонних випасів великої рогатої худоби, овець і кіз на полонинах. Необхідно і важливо зберігати та популяризувати гуцульську культуру, підтримувати поступове відродження різних напрямів та звичаїв гуцульської культури [22].

Для сталого управління та покращання соціального та економічного розвитку України необхідно забезпечити розвиток традиційних і найбільш перспективних для регіону видів господарської діяльності лісового й сільського господарства шляхом запровадження природоохоронних інноваційних технологій, а також екобезпечних видів промислової діяльності, включаючи переробку місцевих сировинних ресурсів, зростання альтернативної енергетики; подальший розвиток сільського та екологічного туризму в Карпатському регіоні; збалансоване використання природних лікувальних та рекреаційних ресурсів, збереження здатності природних ландшафтів (особливо гірських) до самовідтворення; відновлення та охорона існуючих лісів та запобігання руйнування структури ланд-

шафтів та екосистем; стале використання і відтворення біологічного та ландшафтного різноманіття на території Карпат; захист ґрунтів від деградації та опустелення, запобігання рекреаційній деградації ландшафтів.

ВИСНОВКИ

Отже, лісопасовища в Україні мають важливе значення як для сільськогосподарського сектору, так і для збереження природних ресурсів та біологічної різноманітності. Важливо забезпечувати належне управління цими територіями з метою збалансованого використання ресурсів і охорони природного середовища. Виробникам аграрної продукції, які прагнуть перейти до регенеративного сільського господарства, необхідно вивчати практики створення лісопасовищ. Лісопасовище може гарантувати відновлювальні результати сільського господарства та економічну стабільність, коли кожним компонентом — тваринами, кормовими та деревними культурами — цілеспрямовано й свідомо керують як частинами синергічного цілого.

Екологічна парадигма, яка є основою для впровадження цього природоорієнтованого рішення, забезпечує принципи сталого розвитку регіону. В той самий час підвищиться економічна ефективність, цінність лісопасовищних систем та соціальний розвиток сільських регіонів. Соціальна складова в контексті збереження традицій та культурної спадщини є важливим доповненням триєдиного аспекту збалансованого (сталого) розвитку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Newton P., Civita N., Frankel-Goldwater L., Bartel K. and Johns C. What Is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes. *Front. Sustain. Food Syst.* 2020. 4. P. 577723. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.577723>.
2. Mosquera-Losada M.R., Santiago Freijanes J.J., Pisanelli A. et al. Extent and success of current policy measures to promote agroforestry across Europe. Deliverable 8.23 for EU FP7 Research Project. AGFORWARD 613520. 2016. 95 p.
3. Key policy objectives of the CAP 2023-2027 URL: <https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27/key-policy-objectives-cap-2023-27>.
4. Common agricultural policy for 2023-2027 28 CAP strategic plans at a glance. URL: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R2115>.
5. CAP Strategic Plan Regulation — SPR Regulation (EU) N0 2021/2115. URL: <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX.FAOC210179>.
6. Steve G. Silvopasture: a guide to managing grazing animals, forage crops, and trees in a temperate farm ecosystem. *Chelsea Green Publishing*. 2018. 294 p.
7. Graves A.R. et al. Farmer Perceptions of Silvoarable

- Systems in Seven European Countries. In: Rigueiro-Rodríguez A., McAdam J., Mosquera-Losada M.R. (Eds.). *Agroforestry in Europe. Advances in Agroforestry*. 2009. Vol. 6. Springer, Dordrecht. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8272-6_4.
8. Management-intensive Grazing on Irrigated Pasture. URL: <https://extension.colostate.edu/topic-areas/agriculture/management-intensive-grazing-mig-on-irrigated-pasture-0-571/>.
 9. Лісопасовищні системи. URL: <https://nbs.wwf.ua/methodology/lisopasovyshchni-systemy>.
 10. Jönsson M. and Wekesa A. Sustainable Agriculture Land Management — A Training Manual. (Agroforestry, Stockholm). 2014. 128 p. URL: https://agroforestrynetwork.org/database_post/sustainable-agriculture-land-management-a-training-manual.
 11. Is agro-silvopastoral production key to the sahelis growth? URL: <https://ccafs.cgiar.org/news/agro-silvopastoral-production-key-sahelis-growth>.
 12. Mosquera-Losada M.R., Santiago-Freijanes J.J., Rois-Díaz M. et al. Agroforestry in Europe: a land management policy tool to combat climate change. *Land Use Policy*. 2018. Vol. 78. P. 603–613.
 13. URL: <https://www.apcor.pt/en/cork/#What-is-cork>.
 14. Фурдичко О.І., Дребот О.І., Дем'янюк О.С., Ткач Є.Д., Бунас А.А. Екологія агросфери. Київ: ДІА, 2022. 336 с.
 15. Гончар В.М., Копій Л.І., Клименко О.М., Копій С.Л. Особливості формування високопродуктивних березово-соснових деревостанів Західного Полісся: моногр. Рівне: НУВГП, 2018. 202 с.
 16. Про затвердження Порядку заготівлі другорядних лісових матеріалів і здійснення побічних лісових користувань в лісах України: постановою від 23.04.1996 р. № 449. *Кабінет Міністрів України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/449-96-%D0%BF#Text>.
 17. Гудовскі Я., Нестерук Ю., Рушак А. та ін. Полонинське господарство Українських Карпат: традиція, сучасний стан і перспективи. *Зелені Карпати*. 2010. № 1–2. С. 61–69.
 18. Gudowski J. Pasterstwo na Huculszczyźnie. *Gospodarka. Kultura. Obuczaj*. Warszawa: Wyd-wo Akademickie «Dialog». 2001. 270 s.
 19. Бугрин Л.М., Партика Т.В., Бугрин О.М. та ін. Вплив всівання багаторічних трав на відновлення продуктивності деградованих кормових угідь гірської зони Карпат. *Актуальні проблеми агропромислового виробництва України: виклики і шляхи розвитку в умовах війни і повоєнної відбудови: матеріали XII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених (с. Оброшине, 23 листоп. 2023 р.)*. С. 16–17.
 20. Рамкова конвенція про охорону та сталий розвиток Карпат. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/998_164#Text.
 21. Про схвалення Концепції розвитку гірських територій українських Карпат: розпорядження від 3.04.2019 р. *Кабінету Міністрів України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/232-2019-%D1%80>.
 22. Про збереження та популяризацію гуцульської культури: указ від 02.09.2009. № 703/2009. URL: https://ips.ligazakon.net/document/U703_09.

REFERENCES

1. Newton, P., Civita, N., Frankel-Goldwater, L., Bartel, K. & Johns, C. (2020). What Is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes. *Front. Sustain. Food Syst.*, 4, 577723. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.577723> [in English].
2. Mosquera-Losada, M.R., Santiago Freijanes, J.J., Pisanelli, A. et al. (2016). Extent and success of current policy measures to promote agroforestry across Europe. Deliverable 8.23 for EU FP7 Research Project. AGFORWARD 613520. 95 p. [in English].
3. Key policy objectives of the CAP 2023–2027. URL: <https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27/key-policy-objectives-cap-2023-27> [in English].
4. Common agricultural policy for 2023–2027 28 CAP strategic plans at a glance. URL: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R2115> [in English].
5. CAP Strategic Plan Regulation — SPR Regulation (EU) N0 2021/2115. URL: <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX.FAOC210179> [in English].
6. Steve, G. (2018). Silvopasture: a guide to managing grazing animals, forage crops, and trees in a temperate farm ecosystem. *Chelsea Green Publishing*. 294 p. [in English].
7. Graves, A.R. et al. (2009). Farmer Perceptions of Silvoarable Systems in Seven European Countries. In: Rigueiro-Rodríguez, A., McAdam, J., Mosquera-Losada, M.R. (Eds.). *Agroforestry in Europe. Advances in Agroforestry*, 6. Springer, Dordrecht. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8272-6_4 [in English].
8. Management-intensive Grazing on Irrigated Pasture. URL: <https://extension.colostate.edu/topic-areas/agriculture/management-intensive-grazing-mig-on-irrigated-pasture-0-571/> [in English].
9. Lisopasovyshchni systemy [Forest-pasture systems]. (n.d.). URL: <https://nbs.wwf.ua/methodology/lisopasovyshchni-systemy> [in Ukrainian].
10. Jönsson, M. & Wekesa, A. (2014). Sustainable Agriculture Land Management — A Training Manual. (Agroforestry, Stockholm). URL: https://agroforestrynetwork.org/database_post/sustainable-agriculture-land-management-a-training-manual [in English].
11. Is agro-silvopastoral production key to the sahelis growth? URL: <https://ccafs.cgiar.org/news/agro-silvopastoral-production-key-sahelis-growth> [in English].
12. Mosquera-Losada, M.R., Santiago-Freijanes, J.J., Rois-Díaz, M. et al. (2018). Agroforestry in Europe: a land management policy tool to combat climate change. *Land Use Policy*, 78, 603–613 [in English].

13. URL: <https://www.apcor.pt/en/cork/#What-is-cork> [in English].
14. Furdychko, O.I., Drebot, O.I., Demianiuk, O.S., Tkach, Ye.D. & Bunas, A.A. (2022). *Ekolohiia ahrosfery [Agriculture ecology]*. Kyiv [in Ukrainian].
15. Gonchar, V.M., Kopyi, L.I., Klymenko, O.M. & Kopyi, S.L. (2018). *Osoblyvosti formuvannya vysokoproduktyvnykh berezovo-sosnovykh derevostaniv Zakhidnoho Polissya: monohrafiya [Peculiarities of formation of highly productive birch-pine stands of Western Polissia: monograph]*. Rivne [in Ukrainian].
16. Pro zatverdzhennia Poriadku zahotivli druhoriadnykh lisovykh materialiv i zdiisnennia pobichnykh lisovykh korystuvan v lisakh Ukrainy: postanova vid 23.04.1996 [On the approval of the Procedure for the procurement of secondary forest materials and the implementation of secondary forest uses in the forests of Ukraine: decree of 23.04.1996]. *Kabinet Ministriv Ukrainy — Cabinet of Ministers of Ukraine*, 449. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/449-96-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].
17. Hudovski, Ya., Nesteruk, Yu., Rushchak, A. et al. (2010). Polonynske gospodarstvo Ukrainykykh Karpat: tradytsiia, suchasnyi stan i perspektyvy [Polyn economy of the Ukrainian Carpathians: tradition, current state and prospects]. *Zeleni Karpaty — Green Carpathians*, 1–2, 61–69 [in Ukrainian].
18. Gudowski, J. (2001). *Pasterstwo na Huculszczyznie. Gospodarka. Kultura. Obyczaj [Polyn economy of the Ukrainian Carpathians: tradition, current state and prospects]*. Warszawa [in Polish].
19. Buhryn, L.M., Partyka, T.V., Buhryn, O.M. et al. (2023). Vplyv vsivannia bahatorichnykh trav na vidnovlennia produktyvnosti dehradovanykh kormovykh uhid hirskei zony Karpat [The effect of sowing perennial grasses on restoring the productivity of degraded fodder lands of the Carpathian mountain zone]. *Aktualni problemy ahropromyslovoho vyrobnytstva Ukrainy: vyklyky i shliakhy rozvytku v umovakh viiny i povoienni vidbudovy: materialy XII Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia molodykh vchenykh [Actual problems of agro-industrial production of Ukraine: challenges and ways of development in the conditions of war and post-war reconstruction: materials of the 12th All-Ukrainian scientific and practical conference of young scientists]*. (pp. 16–17). [in Ukrainian].
20. Ramkova konventsiia pro okhoronu ta stalyy rozvytok Karpat [Framework Convention on the Protection and Sustainable Development of the Carpathians]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/998_164#Text [in Ukrainian].
21. Pro skhvalennia Kontseptsii rozvytku hirskykh terytorii ukrainykykh Karpat: rozporiadzhennia vid 03.04.2019 [On the approval of the Concept of the development of the mountainous territories of the Ukrainian Carpathians Framework Convention on the Protection and Sustainable Development of the Carpathians: decree of 03.04.2019]. *Kabinet Ministriv Ukrainy — Cabinet of Ministers of Ukraine*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/232-2019-%D1%80> [in Ukrainian].
22. Pro zberezhennta ta populiaryzatsiiu hutsulskoi kultury: ukaz vid 02.09.2009. № 703/2009 [On the preservation and popularization of Hutsul culture: decree of 02.09.2009. No. 703/2009]. URL: https://ips.ligazakon.net/document/U703_09 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 06.02.2024

ПЕРСПЕКТИВИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ІСНУВАННЯ ВИДІВ РОДУ *OENOTHERA* L. ПОЗА МІСЦЬ КУЛЬТИВУВАННЯ В ОДЕСЬКІЙ ОБЛ.

О.Ю. Бондаренко, Ю.С. Назарчук

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова (м. Одеса, Україна)
e-mail: vseobovse123@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2383-6615
e-mail: bio_july@hotmail.com; ORCID: 0000-0002-7046-958X

Культивовані види рослин нерідко можуть ставати елементами спонтанної фракції флори екотопів різного ступеня антропогенного перетворення. Прикладом є представники роду *Oenothera*. Частина з них здатна освоювати екстремальні техногенні екотопи або вкорінюватися у природні багатокomпонентні ценози. Робота з видами роду ускладнена, оскільки питання їх гібридизації потребують додаткових наукових доробок. Найпоширенішими на території України спонтанними елементами флори є види *Oenothera biennis* та *O. rubricaulis*. Одночасно для декількох регіонів північної та центральної (зрідка східної) частин України відмічені види: *O. depressa*, *O. erythrosepala*, *O. glazioviana*, *O. holetscheri*, *O. villosa*. Деякі види мають обмежене поширення: *O. missuriensis*, *O. parviflora*, *O. ruscocarpa*, *O. fallax*, *O. speciosa*, *O. tetragona*, *O. wienii*. За сучасними літературними даними, відомості щодо поширення видів роду *Oenothera* для Одеської обл. або відсутні, або їх критично мало. У гербарних колекціях Одеського національного університету імені І.І. Мечникова (MSUD), історичних та сучасних — наявні деякі зразки представників цього роду. Однак усі вони стосуються переважно поширення *Oenothera biennis* у межах України, або, зрідка, прилеглих територій. Також у гербарії містяться зразки й інших видів, проте їх ідентифікація потребує уваги спеціалістів. Літературні зведення, які охоплюють інформацію щодо видів роду *енотера* (*Oenothera biennis*), переважно, характеризують флору Одеського регіону сторічної давнини. Загалом, випадків знахідок видів *Oenothera*, що зростають спонтанно, для півдня України — відмічено вкрай мало. Під час флористичного обстеження екотопів пониззя межириччя Дністер — Тилігул нами знайдено декілька місцезростань виду *Oenothera glazioviana*. Екологічні умови ділянок — істотно різнилися. Загалом, більшість видів роду *Oenothera* не мають високого інвазійного потенціалу, проте моніторингове відстеження укорінення видів роду в екотопи з різним антропогенним навантаженням — є доцільним.

Ключові слова: *енотера*, спонтанна флора, пониззя межириччя Дністер — Тилігул.

ВСТУП

Рослини синантропної флори (особливо види її адвентивної фракції) у нових для себе умовах напівприродних та техногенних екотопів можуть виявляти дещо інші екологічні особливості, відмінні від тих, які були притаманні їм на батьківщині (адвентивні види рослин), або у природних екотопах за умов України (види апофітної фракції). Нині важливі такі напрями флористичної роботи як фіксація та дослідження нових локалітетів, вивчення особливостей екологічних умов місцезростань синантропних видів. Особливо це стосується видів із високою інвазійною

спроможністю, оскільки вони здатні порушувати баланс у природних ценозах та конкурувати із регіональними корінними видами. Важливо, що ценотичні особливості багатьох інвазійних видів рослин — ще недостатньо досліджені [1].

Серед синантропних видів, зокрема видів із високою інвазійною спроможністю, окремо варто виділити види культивованої фракції, які з тих чи інших причин стають компонентами антропогенно трансформованих, або напівприродних екотопів Одеського регіону [2; 3].

Культивовані рослини, зокрема і з роду *Oenothera*, маючи значний інвазійний потенціал, можуть ставати складовими напів-

природних та навіть природних екоотопів, як наприклад *Oenothera rubricaulis* Klebahn [1]. Різними сучасними авторами представлено близько 13 культивованих видів із роду *Oenothera*, які є спонтанними елементами в екоотопах різного антропогенного навантаження та рівня трансформації: від ботанічних садів, рудералізованих ділянок селищ, міст — до, навіть, природних ценозів (як *O. biennis* L., *O. rubricaulis* Kleb. та ін. на Поліссі) [4; 5]. Частина з них здатна освоювати екстремальні екоотопи (узбіччя залізничних колій, промислові відвали та ін.) [6]. На таких ділянках вони практично не мають конкурентів із боку видів природної флори, проте умови існування тут — доволі важкі: специфічний режим інсоляції, підвищений температурний режим (як правило, такі екоотопи мають темний колір, тому більше перегріваються, порівняно із природними ділянками, що мають рослинний покрив), а також — особливий режим зволоження, який тісно пов'язаний із фракційною структурою субстрату (щєбня, відвальної породи тощо) та його дренажними особливостями.

Метою був аналіз існуючих відомостей (літературних, гербарних) щодо спонтанного поширення культивованих видів роду *Oenothera* у флорі України, для розуміння перспектив появи, закріплення представників цього роду за умов Одеського регіону у трансформованих, напівприродних, а можливо і природних екоотопах.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Центром походження представників роду *Oenothera* є Північна Америка. Рід — доволі великий, крім того, його види досить легко гібридизуються. Загалом культивування видів роду здійснюється вже близько 100 років; в Європі інтродуковано понад 70 видів, проте у ботанічних наукових установах України, за деякими даними, вирощують лише 9 видів. У широкому озелененні види цього роду майже не зустрічаються [7].

За деякими відомостями, рід *Oenothera* — є доволі «проблемним», виділення

видів, питання їх гібридизації потребують додаткових наукових доробок. Так, у флорі України, в роді *Oenothera*, за непевного походження *O. biennis* L. розрізняють гібриди: *O. × fallax* Renner (*O. glazioviana* Horrem. × *O. biennis*) та *O. × hoelscheri* Renner ex Rostanski, unr. n. (*O. rubricaulis* Kleb. × *O. depressa* Greene, або ж *O. biennis* L. × *O. depressa* E. Greene) [8].

Рослини роду *Oenothera*, для території України, є характерними для деяких типів рослинності. Так, *O. biennis*, *O. rubricaulis* є діагностичними видами для асоціації *Agrostio vinealis*–*Calamagrostietum epigaei* Shelyag–Sosonko et al. ex Shelyag–Sosonko et al., 1985. Додатково, *Oenothera rubricaulis* — асоціація *Veronico dillenii*–*Secaletum sylvestris* Shevchyk et Solomakha, 1996 [9].

Власне *Oenothera biennis* — для асоціації *Galio veri*–*Aristolochietum clematidis* Shevchyk et Solomakha in Shevchyk et al., 1996 та асоціації *Galio veri*–*Aristolochietum clematidis* Shevchyk et Solomakha in Shevchyk et al., 1996; а також — асоціації *Plantagini indicae*–*Digitarietum sanguinalis* Papp, 1991 [9].

За даними В.В. Протопопової та ін. [1], інвазійні види з роду *Oenothera* (мова йде про *Oenothera rubricaulis* Klebahn) притаманні екоотопам групи «Е. Злаково-трав'яні мезо- та ксеротичні біотопи з домінуванням гемікриптофітів», що формуються в умовах помірного або недостатнього зволоження (луки, степи, пустощі) — ЕЗ.21, ЕЗ.22. А також — екоотопам групи «І. Біотопам, сформованим господарською діяльністю людини»: І2.242, залізничні насипи [1].

Окремі роботи свідчать про можливість зменшення ролі синантропних видів (у цьому випадку регіонально значимих для Житомирського Полісся — *Oenothera rubricaulis* Klebahn, *O. villosa* Thunb., *O. biennis* L.) у природному рослинному покриві, внаслідок відновлення господарського використання земель, на яких були поширені ці види [10]. Однак, такий вид як *Oenothera biennis* L., за деякими даними, планують, через його «агресивність» включити до

пропонованого переліку «тривожних» інвазійних чужорідних видів (ГЧВ) [11].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Нами аналізовано відомості щодо поширення видів роду енотера на території України (табл.).

Отже, за сучасними літературними даними, відомості щодо поширення видів роду *Oenothera* для Одеської області або відсутні, або їх критично мало.

У гербарних колекціях Одеського національного університету імені І.І. Мечникова (акронім гербарію: MSUD), як історичних (зокрема «іменних»), так і сучасних —

Поширення видів роду *Oenothera* в областях України

Латинська назва виду	Області, регіони України	Рік знахідки (якщо є)	Літературне джерело
<i>Oenothera biennis</i> L.	Запорізька обл.	2005, 2018	[12]
<i>Oenothera biennis</i> L.	Київська обл. та м. Київ	2011, 2013, 2018	[12 та ін.]
<i>Oenothera biennis</i> L.	Криворізький ботанічний сад НАН України	2011	[13]
<i>Oenothera biennis</i> L.	Львівська обл.		[6; 13]
<i>Oenothera biennis</i> L.	<i>Національні природні парки:</i> «Бузький Гард», Гетьманський, Голосіївський, Гущульщина, Деснянсько-Старогутський, Ічнянський, Мезинський, Подільські Товтри, Сколівські Бескиди. <i>Природні заповідники:</i> Горгани, Дніпровсько-Орільський, Древянський, Канівський, Поліський, Український степовий. <i>Чорноморський біосферний заповідник</i>		[15]
<i>Oenothera biennis</i> L.	Південний Схід України (доволі широко)	2003	[16]
<i>Oenothera biennis</i> L.	Полісся (природні екотопи)	1999–2005	[4]
<i>Oenothera biennis</i> L.	Полтавська обл., околиці м. Заводське	2020	[17]
<i>Oenothera biennis</i> L.	Рівненська обл., околиці с. Новий Тік	2019	[18]
<i>Oenothera biennis</i> L.	Середнє Побужжя		[19]
<i>Oenothera biennis</i> L.	Сумська обл., Природний заповідник «Михайлівська цілина»		[20 та ін.]
<i>Oenothera biennis</i> L.	Сумська обл., Середино-Будський р-н	2000, 2011, 2012	[12]
<i>Oenothera biennis</i> L.	Тернопільська обл., долина р. Дністер, Чортківський р-н	2022	[21]
<i>Oenothera biennis</i> L.	Харківська обл.		[20 та ін.]
<i>Oenothera biennis</i> L.	Чернівецька обл., м. Чернівці, Садгора (глиняний кар'єр)	2005	[22]
<i>Oenothera biennis</i> L.	Чернігівська обл., Ічнянський національний природний парк		[5 та ін.]

Продовження таблиці

Латинська назва виду	Області, регіони України	Рік знахідки (якщо є)	Літературне джерело
<i>Oenothera depressa</i> Green	Південний Схід України (засолені місцевості; техногенні екотопи; металургійні заводи, залізничні шляхи)	2003	[16]
<i>Oenothera depressa</i> Green	Волинська обл., Луцький р-н	2022	[23]
<i>Oenothera depressa</i> Green	Поліський природний заповідник		[15]
<i>Oenothera erythrosepala</i> Borb.	Південний Схід		[24]
<i>Oenothera erythrosepala</i> Borb.	Причорномор'я		[24]
<i>Oenothera fallax</i> Renner ex Rostansk	Південний Схід (ботанічні сади, територія заводу)	2003	[16]
<i>Oenothera glazioviana</i> Micheli	Волинська обл., Луцький р-н	2022	[23]
<i>Oenothera glazioviana</i> Micheli	Закарпаття		[24]
<i>Oenothera glazioviana</i> Micheli	Черкаська обл., м. Умань (під фундаментом будинку)	2022	[25]
<i>Oenothera glazioviana</i> Micheli	Житомирське Полісся		[10]
<i>Oenothera glazovana</i> Micheli	Південний Схід України (територія заводу)	2003	[16]
<i>Oenothera hoelscheri</i> Renner ex Rostanski	Волинська обл., Камінь-Каширський р-н	2013	[26]
<i>Oenothera hoelscheri</i> Renner ex Rostanski	Закарпаття		[24]
<i>Oenothera hoelscheri</i> Renner ex Rostanski	Південний Схід		[24]
<i>Oenothera missuriensis</i> Sims.	Криворізький ботанічний сад НАН України		[7]
<i>Oenothera parviflora</i>	Волинська обл., Камінь-Каширський р-н	2013	[26]
<i>Oenothera pycnocarpa</i> Alk et Bartl.	Закарпаття		[24]
<i>Oenothera rubricaulis</i> Kleb.	Волинська обл., Камінь-Каширський р-н	2013, 2022	[26 та ін.]
<i>Oenothera rubricaulis</i> Kleb.	Південний Схід		[24]
<i>Oenothera rubricaulis</i> Kleb.	Полісся (природні і напівприродні екотопи)	1999–2005	[4]

Латинська назва виду	Області, регіони України	Рік знахідки (якщо є)	Літературне джерело
<i>Oenothera rubricaulis</i> Kleb.	Середнє Побужжя		[19]
<i>Oenothera rubricaulis</i> Kleb.	Середнє Придніпров'я		[1]
<i>Oenothera rubricaulis</i> Kleb.	м. Київ	2013, 2014	[12 та ін.]
<i>Oenothera rubricaulis</i> Kleb.	Хмельницька обл., Кам'янець-Подільський та Хмельницький р-ни	2022	[27]
<i>Oenothera rubricaulis</i> Kleb.	Полтавська обл., Миргородський р-н	2020	[17 та ін.]
<i>Oenothera rubricaulis</i> Kleb.	Криворізький ботанічний сад НАН України		[7]
<i>Oenothera speciosa</i> Nutt.	Житомирська обл., Полісся		[10]
<i>Oenothera speciosa</i> 'Silki' Nutt.	Криворізький ботанічний сад НАН України		[7 та ін.]
<i>Oenothera tetragona</i> Roth	Криворізький ботанічний сад НАН України		[7]
<i>Oenothera villosa</i> Thunb.	Волинська обл., Камінь-Каширський р-н	2013	[26]
<i>Oenothera villosa</i> Thunb.	м. Київ, Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України		[28]
<i>Oenothera villosa</i> Thunb.	м. Харків		[29]
<i>Oenothera wienii</i> Renner ex Rostanski	Придніпров'я		[24]

наявні деякі зразки представників цього роду.

Одна з найстаріших колекцій — Новоросійського університету (Herbarium University Novae Rossica: HUNR). Тут виявлено екземпляр **Oenothera albescens* S. Watz. (*O. tenella* T., *O. spachii* Nolte): № 10585. Kiew Hort. Bot. 11/VII. 1869. J. Walz.

Тут і далі зірочкою (*) відмічено види, які не вдалося ідентифікувати відповідно до зведення [30], а також — за даними сайту [31].

Значною кількістю зразків представлено вид *Oenothera biennis* L. Він наявний і у гербарній колекції Вищих Жіночих Педагогічних Курсів (ВЖПК): 1578.1. Катеринослав. губ., Новомоск. повіт, с. Мо-

гилев. 30/VII.1915. Leg. О. Петрова, Det. В. Пастернацька.

Зразки цього виду є і у гербарній колекції П.С. Шестерикова, який написав перший визначник флори околиць м. Одеса [32]: 489. На полях. Floret: червень—серпень. P. Schesterikow. Flora Chersonensis. На жаль, у цій іменній колекції точних місцезростань, як правило, не представлено.

В іменній гербарній колекції Е.Е. Ліндемана (роки створення: середина XIX — початок XX ст.) знайдено зразок *Oenothera biennis* L. з території України: 5846. Elisabethgrad. 1866. Herb. Ed. Lindemann. Представлено і зразок цього виду з прилеглих територій: 5847. Bessarabia, pr. Sbiroi, ad fl. Pruth. 1897. Milo Bereznow.

В іменній колекції Й.К. Пачоського також виявлено екземпляри виду *Oenothera biennis* L.: 3912. Алешки. Піски — зрідка. 28.06.1901. Й. Пачоський; 3913. Біля Херсона, (на скелях Потьомкінського острова). 1875. J. Walz. Academie internationale de Geographie Botanique; 3914. Ad Borysthenum. Плавні Дніпра. 07.1871. Sredinsky. Academie internationale de Geographie Botanique.

Найчастіше вид *Oenothera biennis* L. траплявся у колекції сучасних зборів з території Одеської обл. (за умов правильного визначення): 8469. Сухий лиман. Культ. 18.07.1989. Студ. збори; 8470. м. Одеса. Парк Перемоги. 2.07.1990. Студ.збори; 13601. Одеська обл., м. Саврань. 24.06.2015. Студ. збори; 13602. м. (П... (нерозбірливо)), Одеська обл. 17.05.2017. Студ. збори.

У колекції Е.Е. Ліндемана виявлено зразок **Oenothera missurensis* Sins. наявний із прилеглої території: 5848. Kischinew; hort. Carl. Krebs. 2.06.1894. Herb. Ed. Lindemann.

Вид **Oenothera purpurea* A. Gray. представлено у колекції HUNR: 10604. Kiew Hort. Bot. 11.V. 1869. (Wünzburg). 1869. J. Walz. Тут також є екземпляр виду **Oenothera spachii* Livl. (*O. purpurea* A. Gray. p.p., Bur. Best, non Curt.): 10610. Kiew Hort. Bot. 3.VIII. 1869. (Warschaw) (In America borealis). 1869. J. Walz. З території України є і вид **Oenothera tetraptera* Cav.: 10612. Hort. Cremeniz. Besser.

Вид *Oenothera rubricaulis* Klebahn ~ *O. biennis* s.l. виявлено у колекції сучасних зборів із території Одещини: 8471. м. Одеса. 25.06.1991. Студ. збори.

В історичних колекціях також міститься певна кількість гербарних зразків виду *Oenothera biennis* L., проте вони не мають точної локалізації (наприклад: 10591. Culta. J. Walz. HUNR), тому, щодо поширення виду на території України — такий матеріал не є інформативним.

На нашу думку, окремі гербарні екземпляри цього роду потребують перевизначення спеціалістами, можливо під назвою *Oenothera biennis* є зразки інших видів.

За літературними даними у зведенні Й.К. Пачоського [33] вказано на наявність

Oenothera biennis L. як в околицях м. Одеси (з посиланням на П.С. Шестерикова), так і на зростання виду на прилеглих до Одещини територіях. Зокрема, для Херсонського повіту: м. Херсон (піски Малого та Великого Потьомкінського островів, зрідка), Берислав (багато в плавнях Дніпра), а також — за даними інших колекторів у цій гербарній колекції (Рябков): поблизу Милового та Балацького [сел?]. За даними Й.К. Пачоського [33], вид наводиться і для Одеського повіту: за (?) Рябковим *Oenothera biennis* зустрічається по Дністру; за даними П.С. Шестерикова (в околицях м. Одеса, як бур'янова рослина, що трапляється зрідка). Також Й.К. Пачоський робить відмітки, що вид фіксовано у Тираспольському повіті (обривчасті береги Дністра).

За даними власне П.С. Шестерикова [32], *Oenothera biennis* L. зрідка зустрічається в околицях м. Одеса на забур'янених, засмічених (оригінал «сорних») місцях, поблизу будинків.

Отже, за гербарними даними та літературними відомостями для Одеського регіону, флори України та прилеглих територій наводиться декілька локалітетів для різних видів з роду енотера. У сучасній літературі відсутня інформація про поширення видів роду *Oenothera* в Одеській обл.

У переліках культиварів, які вирощують у розсадниках декоративних рослин Одеської обл., — представлено *Oenothera fruticosa* subsp. *glauca*, *O. missouriensis*, *O. speciosa*, але підтвердити чи спростувати доведення правильної назви ми не можемо, насамперед, через первинність (для виробників) декоративного вигляду рослин, а не коректності латинської назви.

Під час флористичного обстеження екоотопів пониззя межиріччя Дністер – Тилігул нами було знайдено декілька місцезростань видів роду *Oenothera* у пониззі межиріччя Дністер – Тилігул:

- дачна забудова «Меліоратор» — між с. Маяки та м. Біляївка, Одеського р-ну, Одеської обл. Знайдено велику кількість рослин у глинистому вибалку на схилах р. Дністер; експозиція західна. Вибалок

використовується як смітник, переважно для побутового сміття та рештків рослинного походження із навколишніх дачних ділянок. Вибалок оточують із південної частини високі дерева, тут створюється певний затінок, наявні мезофітні умови. Рослини *Oenothera* (визначеної нами як *O. glazioviana* Micheli [34; 35]) заввишки понад два метри, з розгалуженими пагонами, добре квітли та плодоносили. Супутніми рослинами були переважно: *Artemisia annua* L., *Atriplex sagittata* Borkh (зрідка), *Conyza canadensis* (L.) Cronq. (у великій кількості), *Epilobium tetragonum* L. (у великій кількості), *Humulus lupulus* L., *Lycium barbarum* L. (зрідка), *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. Загальне проективне покриття понад 100,0%. Станом на дату знахідки (2.08.2023) і екземпляри енотери, і супутні види рослин перебували у різних фазах генерації. Рослин сєнільного та субсєнільного станів – не спостєрігалося;

- дачна забудова на території Дністровського пересипу, засмічена будівельна ділянка, куди скидали будівельне та побутове сміття з навколишніх дачних ділянок. Остання не має ухилу, її площина – горизонтальна, умови – спекотні (через відсутність великих дерев тут). Піщаний ґрунт – добре дренований, проте волога може затримуватися «під» та «між» купами сміття різного походження та різного терміну розкладу (рослинні рештки, бита цегла, плівка тощо). Висота рослин (визначених як *O. glazioviana* Micheli [34; 35]) – до 1,2 м, рослини нормально розвинені, квітували, присутні сформовані плоди. Супутніми рослинами були: *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl, *Lactuca serriola* L. (зрідка). Рослинний покрив дуже розріджений, загальне проективне покриття до 40,0%. Станом на час знахідки (28.06.2019 р.) практично всі рослини різних видів (за виключенням енотери) перебували у сєнільному та відмерлому стані.

За даними Інтернет-ресурсів, для пониззя межиріччя Дністер – Тилігул *Oenothera*

glazioviana Micheli наводиться ще з двох точок: сєл. Тилігульське (узбережжя Тилігульського лиману) та в м. Одеса (в районі вул. Архітекторська) [36].

ВИСНОВКИ

У сучасних літературних джерелах, для території України, представлено близько 13 культивованих видів з роду *Oenothera*, які можуть бути спонтанними елементами в екотопах різного рівня антропогенного навантаження. Особливістю представників роду *Oenothera* є їх гібридизація, що ускладнює процес визначення.

Вид *Oenothera biennis* – трапляється практично для всіх регіонів України. Вид *O. rubricaulis* – також має широке поширення: Південний Схід, Середнє Побужжя, Полісся (де може укоріноватися у природні та напівприродні екотопи), Волинська, Хмельницька, Полтавська, Київська, Запорізька обл. Вид *O. depressa* – виявлено на Південному Сході, Поліссі, у Волинській обл. Вид *O. erythrosepala* – відмічено для Південного Сходу, Причорномор'я. Вид *O. glazioviana* – представлено для Південного Сходу, Полісся, Закарпаття, Волинської обл. Вид *O. hoelscheri* – показано для Волинської обл., Закарпаття, Південного Сходу. Вид *O. villosa* – для Волинської обл., м. Києва та Харкова.

Деякі види мають обмежене поширення: *O. missouriensis*, *O. speciosa* та *O. tetragona* – як спонтанний елемент у Криворізькому ботанічному саду; *O. parviflora* – на піщаних пустощах у Волинській обл.; *O. pycnocarpa* – у спонтанній флорі Закарпаття. Вид *O. fallax* – знайдено в ботанічному саду, а також – техногенних територіях Південного Сходу. Вид *O. speciosa* – характеризує Житомирське Полісся. Вид *O. wienii* наводять для Придніпров'я.

Загалом, випадків знахідок видів *Oenothera*, що зростають спонтанно, для півдня України – відмічено вкрай мало. Є окремі гербарні знахідки та літературні посилення. Під час флористичного обстеження екотопів пониззя межиріччя Дністер – Тилігул нами знайдено декілька місцезростань виду *Oenothera glazioviana* Micheli. Еколо-

гічні умови обох ділянок — істотно різнилися.

З огляду на випадки укорінення видів роду *Oenothera* у напівприродні та навіть природні екотопи північних та, особливо, центральних регіонів України, перспективи прояви в Одеському регіоні видів (із широкою екологічною амплітудою) цього

роду, як спонтанного елементу флори, особливо в окремих, сприятливих екотопах — цілком можливі. Більшість видів роду *Oenothera* не є високоінвазійними, проте моніторингове відстеження укорінення видів роду в екотопах із різним антропогенним навантаженням — є доцільним.

ЛІТЕРАТУРА

1. Протопопова В.В., Шевера М.В., Федорончук М.М. та ін. Участь інвазійних видів рослин у природних та антропогенних біотопах Середнього Придніпров'я. *Синантропізація рослинного покриву України*: III Всеукр. наук. конф. (м. Київ, 26–27 верес. 2019 р.). Київ: Наш формат, 2019. С. 141–145. URL: https://www.botany.kiev.ua/doc/zbirnik_conf_syn_2019.pdf.
2. Бондаренко О.Ю. Інвазійні види флори трансформованих ділянок залізничних колій у пониззі межиріччя Дністер – Тилігул. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 4. С. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2022.273246>.
3. Бондаренко О.Ю., Назарчук Ю.С. Види рослин школи садівництва м. Одеси (XIX–XX ст.) (за матеріалами MSUD). *Агроекологічний журнал*. 2023. № 1. С. 47–57. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2023.276727>.
4. Коцун Л.О., Кузьмішина І.І. Синантропізація флори Волинської обл. *Біологічний вісник МДПУ*. 2016. № 1. С. 416–426. URL: <https://www.ujecology.com/articles/flora-synanthropization-in-volyn-region-ukraine.pdf>.
5. Лисенко Г.М., Шульга О.О., Білик М.М., Пасічник С.В. Фітоінвазії та оптимізація заповідних режимів у Ічнянському національному природному парку. *Актуальні питання біологічної науки: IX Міжнар. заочна наук.-практ. конф. Ніжин, 2023*. С. 20–23. URL: http://www.ndu.edu.ua/storage/2023/Biol_conf_stat_2023.pdf.
6. Skrobala V., Popovych V. and Pinder V. Ecological patterns for vegetation cover formation in the mining waste dumps of the Lviv–Volyn coal basin. *Mining of Mineral Deposits*. 2020. 14 (2). P. 119–127. URL: https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/155469/14_Skrobala%2C%20Popovych%2C%20Pinder.pdf?sequence=1.
7. Лешенюк О.М., Чипиляк Т.Ф., Лінкевич О.О. Особливості адаптації окремих видів роду *Oenothera* L. до посушливо-спекотних умов Правобережного Степового Придніпров'я. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020. Т. 30. № 4. С. 46–50. URL: https://www.researchgate.net/publication/346796259_Osoblivosti_adaptacii_okremih_vidiv_rodu_Oenothera_L_do_posushlivo-spekotnih_umov_Pravobereznogo_Steпового_Pridniprov'a.
8. Бурда Р.І. Випадки гібридизації у перебігу інвазії чужорідних рослин в Україну. *Синантропізація рослинного покриву України*: III Всеукр. наук. конф. (м. Київ, 26–27 верес. 2019 р.). Київ: Наш формат, 2019. С. 19–23. URL: https://www.botany.kiev.ua/doc/zbirnik_conf_syn_2019.pdf.
9. Продромус рослинності України. Київ: Наукова думка, 2019. 784 с.
10. Орлов О.О. Сучасні тренди адвентизації флори Житомирського Полісся. *Синантропізація рослинного покриву України*: III Всеукр. наук. конф. (м. Київ, 26–27 верес. 2019 р.). Київ: Наш формат, 2019. С. 122–127. URL: https://www.botany.kiev.ua/doc/zbirnik_conf_syn_2019.pdf.
11. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2019 році. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Nats.-dop.-pro-stan-navk.-pryrodnoho-seredovyssha-v-Ukrayini-u-2019-rotsi.pdf>.
12. Онищенко В.А., Коломійчук В.П., Панченко С.М., Воробйов Є.О. Поширення ксенофітів в Україні за даними фітосоціологічної бази даних EU-UA-006 «Vegetation database of Ukraine and adjacent parts of Russia». *Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні. Сер.: «Conservation Biology in Ukraine»*. 2023. Вип. 29. Чернівці: Друк Арт. С. 368–434. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf.
13. Шоль Г.Н. Адвентивна компонента рослинного покриву природоохоронних об'єктів на урбанізованих територіях. *Рослини та урбанізація: матеріали дев'ятої Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Дніпро, 5 берез. 2020 р.)*. Дніпро, 2020. С. 54–56. URL: <http://surl.li/oqonj>.
14. Павлишак Я.Я., Кречківська Г.В. Синантропні рослини в урбанофлорі міста Новий Розділ Львівської обл. *Екологічні науки*. 2021. № 6 (39). С. 199–203. URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2021/6/34.pdf>.
15. Завьялова Л.В. Види інвазійних рослин, небезпечні для природного фіторізноманіття об'єктів природно-заповідного фонду України. *Біологічні системи*. 2017. Т. 9. Вип. 1. С. 87–107. URL: http://ibhb.chnu.edu.ua/uploads/files/vb/BS_T9_V1_2017/Zavialova.pdf.
16. Тохтарь В.К. Новые находки синантропных видов на Юго-Востоке Украины. *Промышленная ботаника*. 2005. Вип. 5. С. 61–65. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/66042/08-Tokhtar.pdf?sequence=1>.

17. Ольшанський І.Г. Знахідки адвентивних рослин на території заводської громади (Миргородський р-н, Полтавська обл.) у 2013–2022 рр. *Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні. Сер.: «Conservation Biology in Ukraine»*. 2023. Вип. 29. Чернівці: Друк Арт. С. 349–356. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf.
18. Бончковський А.С., Безсмертна О.О. Екологічний аналіз фіторізноманіття актуального етапу сукцесії у глиняному кар'єрі на території Волинської височини. *Рослини та урбанізація: матеріали дев'ятої Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Дніпро, 5 берез. 2020 р.)*. Дніпро, 2020. С. 10–12. URL: <http://surl.li/ooqonj>.
19. Ковтонюк А.І. Спонтанна флора та рослинність садово-паркових ландшафтів Середнього Побужжя (структура, диференціація, трансформація, охорона): дис. ... канд. біол. наук: 03.00.05. Київ, 2021. 305 с.
20. Бондаренко Г.М., Сіранський В.Ю. Про деякі знахідки адвентивних видів рослин з території України. *Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні. Сер.: «Conservation Biology in Ukraine»*. 2023. Вип. 29. Чернівці: Друк Арт. С. 60–77. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf.
21. Микитюк Т.П. Знахідки чужорідних видів рослин у регіоні НПП «Дністровський каньйон» (Тернопільська обл., Чортківський р-н) за період 2020–2022 рр. *Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні. Сер.: «Conservation Biology in Ukraine»*. 2023. Вип. 29. Чернівці: Друк Арт. С. 289–292. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf.
22. Никирса Т.Д. Адвентивні види рослин Хотинської височини. *Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні. Сер.: «Conservation Biology in Ukraine»*. 2023. Вип. 29. Чернівці: Друк Арт. С. 317–335. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf.
23. Герасимчук Г.В., Мерленко Н.О., Лойко В.О. та ін. Поширення чужорідних видів рослин на території КНПП «Шуманська пуша». *Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні. Сер.: «Conservation Biology in Ukraine»*. 2023. Вип. 29. Чернівці: Друк Арт. С. 91–93. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf.
24. Ростанські К., Тохтар В.К., Шевера М.В. Нові для флори України види роду *Oenothera* L. (*Onagraceae*). *Укр. ботан. журн.* 1997. Т. 54. № 2. С. 174–177. URL: <https://www.botany.kiev.ua/doc/shevera34.pdf>.
25. Коструба Т.М. Нові знахідки декоративних трав'яних віткачів із культури у м. Умань. *Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні. Сер.: «Conservation Biology in Ukraine»*. 2023. Вип. 29. Чернівці: Друк Арт. С. 202–204. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf.
26. Орлов О.О., Кузярін О.Т., Корх Ю.О. Знахідки чужорідних судинних рослин на території Національного природного парку «Прип'ять–Стохід». *Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні. Сер.: «Conservation Biology in Ukraine»*. 2023. Вип. 29. Чернівці: Друк Арт. С. 435–441. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf.
27. Горбняк–Юліна Л.Т., Свиридюк Д.О., Одукалець І.О. Відомості про поширення чужорідних видів рослин на території НПП «Подільські Товтри» та його охоронної зони. *Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні. Сер.: «Conservation Biology in Ukraine»*. 2023. Вип. 29. Чернівці: Друк Арт. С. 104–106. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf.
28. Шиндер О.І. Спонтанна флора Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка НАН України (м. Київ). Повідомлення 4. Адвентивні види: ксенофіти. *Plant introduction*. 2019. № 4. С. 18–33.
29. Звягінцева К.О. Географічне поширення адвентивного елементу урбанофлори Харкова. *Рослини та урбанізація: матеріали дев'ятої Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Дніпро, 5 берез. 2020 р.)*. Дніпро, 2020. С. 25–27. URL: <http://surl.li/ooqonj>.
30. Mosyakin S.L. and Fedoronchuk M.M. Vascular Plants of Ukraine. A nomenclature Checklist. Kiev, 1999. 345 p.
31. International Plant Names Index. URL: <https://www.ipni.org/>.
32. Шестериков П.С. Определитель растений окрестностей Одессы. Одесса: Коммерч. типография Б. Сапожникова, 1912. 539 с.
33. Paczoski Józef. Flora Chersonszczyzny. Tom II. Róśliny dwuliścienne. Poznań, 2008. 505 stron.
34. Flora of Gibraltar. URL: <https://floraofgibraltar.myspecies.info/taxonomy/term/736/descriptions>.
35. Енотера червоначашечкова. URL: <http://surl.li/pmzne>.
36. Pl@ntNet. URL: <https://identify.plantnet.org/uk/k-world-flora/species/Oenothera%20glazioviana%20Micheli/data>.

REFERENCES

1. Protopopova, V.V., Shevera, M.V., Fedoronchuk, M.M. et al. (2019). Uchast invaziinykh vydiv roslyn u pryrodnykh ta antropohennykh biotopakh Serednoho Prydniprovia [Participation of invasive plant species in natural and anthropogenic biotopes of the Middle Dnieper region]. *Synantropizatsiia roslynnoho pokryvu Ukrainy: III Vseukrainska naukova konferentsiia [Synanthropization of the plant cover of Ukraine: III All-Ukrainian scientific conference]*. (pp. 141–145). Kyiv. URL: https://www.botany.kiev.ua/doc/zbirnik_conf_syn_2019.pdf [in Ukrainian].

2. Bondarenko, O.Iu. (2022). Invaziini vydy flory transformovanykh dilianok zaliznychnykh kolii u ponyzzy mezhyrichchia Dniester—Tyliluh [Invasive species of the flora of transformed sections of railway tracks in the lower reaches of the Dniester—Tiligul interfluve]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal*, 4, 27–33. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2022.273246> [in Ukrainian].
3. Bondarenko, O.Iu. & Nazarchuk, Yu.S. (2023). Vydy roslyn shkoly sadivnytstva m. Odessa (XIX–XX st.) (za materialamy MSUD) [Species of plants of the Odessa School of Horticulture (XIX–XX centuries) (based on MSUD materials)]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal*, 1, 47–57. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2023.276727> [in Ukrainian].
4. Kotsun, L.O. & Kuzmishyna, I.I. (2016). Synantropizatsiia flory Volynskoi oblasti [Synanthropization of the flora of the Volyn region]. *Biolohichnyi visnyk MDPU — Biological Bulletin of the MDPU*, 1, 416–426. URL: <https://www.ujecology.com/articles/flora-synanthropization-in-volyn-region-ukraine.pdf> [in Ukrainian].
5. Lysenko, H.M., Shulha, O.O., Bilyk, M.M. & Pasichnyk, S.V. (2023). Fitoinvazii ta optymizatsiia zapovidnykh rezhyziv u Ichnianskomu natsionalnomu pryrodnomu parku [Phytovasions and optimization of protected regimes in the Ichnyan National Nature Park]. *Aktualni pytannia biolohichnoi nauky: IX Mizhnarodna zaochna nauково-praktychna konferentsiia [Actual Issues in Biological Science: IX International Correspondence Scientific and Practical Conference]*. (pp. 20–23). Nizhyn. URL: http://www.ndu.edu.ua/storage/2023/Biol_conf_stat_2023.pdf [in Ukrainian].
6. Skrobala, V., Popovych, V. & Pinder V. (2020). Ecological patterns for vegetation cover formation in the mining waste dumps of the Lviv–Volyn coal basin. *Mining of Mineral Deposits*, 14 (2), 119–127. URL: https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/155469/14_Skrobala%2C%20Popovych%2C%20Pinder.pdf?sequence=1 [in English].
7. Leshcheniuk, O.M., Chypyliak, T.F. & Linkevych, O.O. (2020). Osoblyvosti adaptatsii okremykh vydiv rodu *Oenothera* L. do posushlyvo-spekotnykh umov Pravoberezhnogo Stepovoho Prydniprov'ia [Peculiarities of the adaptation of certain species of the genus *Oenothera* L. to arid and hot conditions of the Right Bank Steppe of the Dnieper Region]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy — Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine*, 30, 4, 46–50. URL: https://www.researchgate.net/publication/346796259_Osoblyvosti_adaptatsii_okremih_vidiv_rodu_Oenothera_L_do_posushlyvo-spekotnih_umov_Pravoberezhnogo_Stepovogo_Pridniprov'a [in Ukrainian].
8. Burda, R.I. (2019). Vypadky hibrydyzatsii u perebihu invazii chuzhoridnykh roslyn v Ukrainu [Cases of hybridization in the course of the invasion of alien plants in Ukraine]. *Synantropizatsiia roslynnoho pokryvu Ukrainy: III Vseukrainska naukova konferentsiia [Synanthropization of the vegetation cover of Ukraine: III All–Ukrainian scientific conference]*. (pp. 19–23). Kyiv: Nash format [in Ukrainian].
9. *Prodromus roslynosti Ukrainy [Prodromus vegetation of Ukraine]*. (2019). Kyiv [in Ukrainian].
10. Orlov, O.O. (2019). Suchasni trendy adventytsii flory Zhytomyrskoho Polissia [Modern trends of adventitization of the flora of Zhytomyr Polissia]. *Synantropizatsiia roslynnoho pokryvu Ukrainy: III Vseukrainska naukova konferentsiia [Synanthropization of the plant cover of Ukraine: III All–Ukrainian scientific conference]*. (pp. 122–127). Kyiv: Nash format. URL: https://www.botany.kiev.ua/doc/zbornik_conf_syn_2019.pdf [in Ukrainian].
11. Natsionalna dopovid pro stan navkolysnogo pryrodnoho seredovyshcha v Ukraini u 2019 rotsi [National report on the state of the natural environment in Ukraine in 2019]. (n.d.). URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Nats.-dop.-prost.-navk.-pryrodnogo-seredovyshcha-v-Ukrayini-u-2019-rotsi.pdf> [in Ukrainian].
12. Onyshchenko, V.A., Kolomiichuk, V.P., Panchenko, S.M. & Vorobiov, Ye.O. (2023). Poshyrennia kenofitiv v Ukraini za danymy fitosotsiolozhichnoi bazy danykh EU–UA–006 «Vegetation database of Ukraine and adjacent parts of Russia» [Distribution of chenophytes in Ukraine according to the phytosociological database EU–UA–006 «Vegetation database of Ukraine and adjacent parts of Russia»]. *Znakhidky chuzhoridnykh vydiv roslyn ta tvaryn v Ukraini. Seriya: Conservation Biology in Ukraine — Findings of alien species of plants and animals in Ukraine. Series: Conservation Biology in Ukraine*, 29, 368–434. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf [in Ukrainian].
13. Shol, H.N. (2020). Adventyvna komponenta roslynnoho pokryvu pryrodookhoronnykh ob'ektiv na urbanizovanykh terytoriyakh [Adventitious component of vegetation cover of nature conservation objects in urbanized territories]. *Roslyny ta urbanizatsiia: Materialy deviatoi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Plants and Urbanization: Proceedings of the Ninth International Scientific and Practical Conference]*. (pp. 54–56). Dnipro. URL: <http://surl.li/oqonj> [in Ukrainian].
14. Pavlyshak, Ya.Ia. & Krechkiivska, H.V. (2021). Synantropni roslyny v urbanoflori mista Novyi Rozdil Lvivskoi oblasti [Synanthropic plants in the urban flora of Novyi Rozdil, Lviv Region]. *Ekolohichni nauky — Ecological Sciences*, 6 (39), 199–203. URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2021/6/34.pdf> [in Ukrainian].
15. Zavalova, L.V. (2017). Vydy invaziinykh roslyn, nebezpechni dla pryrodnoho fitoriznomanittia ob'ektiv pryrodno-zapovidnogo fondu Ukrainy [Species of invasive plants that are dangerous for the natural phytodiversity of the objects of the nature reserve fund of Ukraine]. *Biolohichni systemy — Biological systems*, 9, 1, 87–107. URL: http://ibhb.chnu.edu.ua/uploads/files/vb/BS_T9_V1_2017/Zavalova.pdf [in Ukrainian].
16. Tokhtar, V.K. (2005). Nove nakhodki sinantropnykh vydiv na Yugo–Vostoke Ukrainy [New finds of

- synanthropic species in the South–East of Ukraine]. *Promyshlennaya botanika — Industrial Botany*, 5, 61–65. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/66042/08-Tokhtar.pdf?sequence=1> [in Russian].
17. Olshanskiy, I.H. (2023). Znakhidky adventyvnnykh roslyn na terytorii zavodskoi hromady (Myrhorodskiy raion, Poltavska oblast) u 2013–2022 rokakh [Findings of adventitious plants on the territory of the factory community (Myrgorod district, Poltava region) in 2013–2022]. *Znakhidky chuzhoridnykh vydiv roslyn ta tvaryn v Ukraini. Seriya: Conservation Biology in Ukraine — Findings of alien species of plants and animals in Ukraine. Series: Conservation Biology in Ukraine*, 29, 349–356. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf [in Ukrainian].
 18. Bonchkovskiy, A.S. & Bezsmertna, O.O. (2020). Ekolohichniy analiz fitoriznomanittia aktualnoho etapu sukcesiï u hlynianomu karieri na terytorii Volynskoi vysochyny [Ecological analysis of phytodiversity of the current stage of succession in a clay quarry on the territory of the Volyn Upland]. *Roslyny ta urbani-zatsiia: Materialy deviatoi Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii [Plants and Urbanization: Proceedings of the Ninth International Scientific and Practical Conference]*. (pp. 10–12). Dnipro. URL: <http://surl.li/oqonj> [in Ukrainian].
 19. Kovtoniuk, A.I. (2021). Spontanna flora ta roslynnist sadovo-parkovykh landshaftiv Serednoho Pobuzhzhia (struktura, dyferentsiatsiia, transformatsiia, okhorona) [Spontaneous flora and vegetation of garden and park landscapes of the Middle Pobuzhia (structure, differentiation, transformation, protection)]. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
 20. Bondarenko, H.M. & Siranskyi, V.Iu. (2023). Pro deaki znakhidky adventyvnnykh vydiv roslyn z terytorii Ukrainy [About some finds of adventitious plant species from the territory of Ukraine]. *Znakhidky chuzhoridnykh vydiv roslyn ta tvaryn v Ukraini. Seriya: Conservation Biology in Ukraine — Findings of alien species of plants and animals in Ukraine. Series: Conservation Biology in Ukraine*, 29, 60–77. Chernivtsi: Druk Art. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf [in Ukrainian].
 21. Mykytiuk, T.P. (2023). Znakhidky chuzhoridnykh vydiv roslyn u rehioni NPP «Dnistrovskiy kanion» (Ternopil'ska obl., Chortkivskiy r-n) za period 2020–2022 rr. [Findings of alien species of plants in the region of the Dniester Canyon National Park (Ternopil region, Chortkivskiy district) for the period 2020–2022]. *Znakhidky chuzhoridnykh vydiv roslyn ta tvaryn v Ukraini. Seriya: Conservation Biology in Ukraine — Findings of alien species of plants and animals in Ukraine. Series: Conservation Biology in Ukraine*, 29, 289–292. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf [in Ukrainian].
 22. Nykyrsa, T.D. (2023). Adventyvni vydy roslyn Khotynskoi Vysochyny [Adventitious plant species of the Khotyn Highlands]. *Znakhidky chuzhoridnykh vydiv roslyn ta tvaryn v Ukraini. Seriya: Conservation Biology in Ukraine — Findings of alien species of plants and animals in Ukraine. Series: Conservation Biology in Ukraine*, 29, 317–335. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf [in Ukrainian].
 23. Herasymchuk, H.V., Merlenko, N.O., Loiko, V.O. et al. (2023). Poshyrennia chuzhoridnykh vydiv roslyn na terytorii KNPP «Tsumanska pushcha» [The spread of alien plant species on the territory of the Tsumanska Pushcha KNPP]. *Znakhidky chuzhoridnykh vydiv roslyn ta tvaryn v Ukraini. Seriya: Conservation Biology in Ukraine — Findings of alien species of plants and animals in Ukraine. Series: Conservation Biology in Ukraine*, 29, 91–93. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf [in Ukrainian].
 24. Rostanski, K., Tokhtar, V.K. & Shevera, M.V. (1997). Novi dlia flory Ukrainy vydy rodu *Oenothera* L. (*Onagraceae*) [New species of the genus *Oenothera* L. (*Onagraceae*) for the flora of Ukraine]. *Ukr. Botan. zhurn. — Ukr. Botan. Journ.*, 54, 2, 174–177. URL: <https://www.botany.kiev.ua/doc/shevera34.pdf> [in Ukrainian].
 25. Kostruba, T.M. (2023). Novi znakhidky dekoratyvnnykh travianykh vtikachiv iz kultury u m. Uman [New finds of decorative grass fugitives from culture in the city of Uman]. *Znakhidky chuzhoridnykh vydiv roslyn ta tvaryn v Ukraini. Seriya: Conservation Biology in Ukraine — Findings of alien species of plants and animals in Ukraine. Series: Conservation Biology in Ukraine*, 29, 202–204. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf [in Ukrainian].
 26. Orlov, O.O., Kuziarin, O.T. & Korkh, Yu.O. (2023). Znakhidky chuzhoridnykh sudnyvnykh roslyn na terytorii Natsionalnoho pryrodnoho parku «Prypiat–Stokhid» [Findings of alien vascular plants on the territory of the Prypiat–Stokhid National Nature Park]. *Znakhidky chuzhoridnykh vydiv roslyn ta tvaryn v Ukraini. Seriya: Conservation Biology in Ukraine — Findings of alien species of plants and animals in Ukraine. Series: Conservation Biology in Ukraine*, 29, 435–441. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf [in Ukrainian].
 27. Horbniak-Yulina, L.T., Svyrydiuk, D.O. & Odukalets, I.O. Vidomosti pro poshyrennia chuzhoridnykh vydiv roslyn na terytorii NPP «Podilski Tovtry» ta yoho okhoronnoi zony [Information on the spread of alien plant species on the territory of the Podilski Tovtry NPP and its protection zone]. *Znakhidky chuzhoridnykh vydiv roslyn ta tvaryn v Ukraini. Seriya: Conservation Biology in Ukraine — Findings of alien species of plants and animals in Ukraine. Series: Conservation Biology in Ukraine*, 29, 104–106. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf [in Ukrainian].
 28. Shynder, O.I. (2019). Spontanna flora Natsionalnoho botanichnoho sadu imeni M.M. Hryshka NAN Ukrainy (m. Kyiv). Povidomlennia 4. Adventyvni vydy: ksenofity [Spontaneous flora of the National

- Botanical Garden named after M.M. Hryshka of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv). Message 4. Adventitious species: xenophytes]. *Plant introduction*, 4, 18–33 [in Ukrainian].
29. Zviahintseva, K.O. (2020). Heohrafichne poshyrennia adventyvnogo elementu urbanoflory Kharkova [Geographical distribution of the adventive element of Kharkiv's urban flora]. *Roslyny ta urbanizatsiia: Materialy deviatoi Mizhnarodnoi naukovu–praktychnoi konferentsii [Plants and Urbanization: Proceedings of the Ninth International Scientific and Practical Conference]*. (pp. 25–27). Dnipro. URL: <http://surl.li/oqonj> [in Ukrainian].
 30. Mosyakin, S.L. & Fedoronchuk M.M. (1999). Vascular Plants of Ukraine. A nomenclature Checklist. Kiev [in English].
 31. International Plant Names Index. URL: <https://www.ipni.org/> [in English].
 32. Shesterikov, P.S. (1912). *Opredivitel rasteniy okresnostey Odessa [Key to plants in the environs of Odessa]*. Odessa: Komerch. tipografiya Sapozhnikova B. [in Russian].
 33. Paczoski Józef. (2008). Flora Chersonszczyzny. Tom II. Rósliny dwuliścienne. Poznań [in Russian].
 34. Flora of Gibraltar. (n.d.). URL: <https://floraofgibraltar.myspecies.info/taxonomy/term/736/descriptions> [in English].
 35. Enotera chervonochashechkova [Enotera red-cuppe]. (n.d.). URL: <http://surl.li/pmzne> [in Ukrainian].
 36. Pl@ntNet. (n.d.). URL: <https://identify.plantnet.org/uk/k-world-flora/species/Oenothera%20glazioviana%20Micheli/data> [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 27.01.2024

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ УКРАЇНИ З УРАХУВАННЯМ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ДОСВІДУ

М.Я. Височанська, Є.В. Мішенін

*Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: mariya_vysochanska@ukr.net; ORCID: 0000-0003-2116-9991
e-mail: y.mishenin@uabs.sumdu.edu.ua; ORCID: 0000-0003-1597-3270*

У статті наведено європейський досвід країн: Польщі, Німеччини, Швеції у сфері управління твердими побутовими відходами. Описано по кожній із країн особливості такого управління. Встановлено, що організація системи управління твердими побутовими відходами в європейських країнах відрізняється низкою особливостей, які визначаються екологічними стандартами, соціальними цінностями й стратегіями сталого розвитку, що спрямовані на розв'язання проблем, пов'язаних із утворенням, зберіганням, переробкою та утилізацією відходів. З урахуванням європейського досвіду запропоновано напрями удосконалення системи управління твердими побутовими відходами в Україні, а саме: розвиток і впровадження систем сортування в домогосподарствах; збільшення кількості та розвиток сучасних об'єктів для переробки й вторинної переробки твердих побутових відходів; залучення інвестицій щодо запровадження новітніх технологій в обробці твердих побутових відходів; введення ефективних систем стимулювання для підприємств, які займаються вторинною переробкою твердих побутових відходів; розробка програм і заходів для підтримки використання вторинної сировини в промисловості та виробництві; застосування сучасних технологій для відстеження обсягів твердих побутових відходів, їхнього складу та маршрутів перевезення; створення цифрових платформ для обміну інформацією між управлінням відходами, підприємствами та громадянами; використання програм і освітніх заходів для підвищення екологічної свідомості громади та їх активної участі в системі управління твердими побутовими відходами; перегляд та удосконалення законодавства для відповідності сучасним екологічним вимогам; запровадження ефективних штрафів та заохочень для підприємств та громадян, що дотримуються чи порушують вимоги управління твердими побутовими відходами.

Ключові слова: вторинна сировина, європейські країни, збирання, сортування, транспортування, утилізація, переробка, виробництво.

ВСТУП

Високий обсяг утворення твердих побутових відходів та низька ефективність їхнього використання як вторинної сировини призвели до того, що в Україні щороку накопичується значна кількість таких відходів. Лише невелика частка цих відходів застосовується як вторинні матеріальні ресурси, тоді як більшість їх направляється на сміттєзвалища [1]. Враховуючи складну ситуацію з управлінням твердими побутовими відходами в Україні, вибір правильних пріоритетів та стратегій стає надзвичайно важливим для виходу з цієї кризової ситуації. Тому найдоцільнішим є використання найкращих європейських

практик управління твердими побутовими відходами в контексті національних реалій [2]. Це дасть змогу якнайшвидше і належним чином запровадити ефективну модель управління твердими побутовими відходами на всій території нашої країни, відповідно до найновіших тенденцій у цій сфері.

Метою є дослідження особливостей щодо системи управління твердими побутовими відходами в європейських країнах.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідження, присвячені екологічному покращанню виробничих процесів, оптимізації економічних інструментів управління

твердими побутовими відходами (ТПВ), мінімізації економічних втрат, пов'язаних з управлінням ТПВ та підвищенню інвестицій у системи обробки ТПВ, були проведені такими вченими, як Р. Байцар [3], О. Білопільська [4], М. Долішній, Я. Шевчука [5] та ін.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Інформаційну основу дослідження становлять матеріали наукових публікацій вітчизняних та закордонних авторів. Для виконання поставлених завдань використовувалися такі методи досліджень: монографічний метод (аналіз наукових публікацій для отримання детального уявлення про проблему); діалектична логіка й системно-структурний аналіз (для уточнення сутності та розгляду компонентів системи управління твердими побутовими відходами); аналізу і синтезу (для усвідомлення й об'єднання інформації, необхідної для розв'язання завдань); абстрактно-логічний метод (для теоретичного узагальнення та формування висновків на основі отриманих даних).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Система управління твердими побутовими відходами — це комплекс організаційних, технічних, економічних та соціальних заходів, спрямованих на ефективне збирання, сортування, транспортування, утилізацію й переробку твердих побутових відходів. Ефективна система управління твердими побутовими відходами допомагає забезпечити сталий розвиток, зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та сприяє використанню відходів як ресурсу для нових продуктів чи енергії.

Організація системи управління твердими побутовими відходами в європейських країнах визначається низкою особливостей, що сприяють сталому використанню ресурсів та ефективному поводженню з відходами. Європейські країни активно пропагують роздільний збір відходів серед населення та підприємств. Системи

управління твердими побутовими відходами в європейських країнах є інтегрованими, забезпечуючи співпрацю між різними рівнями влади, громадянами, галузевими організаціями та виробниками. Принцип «розширеної відповідальності виробника» передбачає, що виробники несуть відповідальність за обробку та утилізацію власних відходів. Це стимулює виробників використовувати екологічно безпечні матеріали та упаковку. Європейські країни активно розвивають вторинну переробку відходів, щоб зменшити потребу в новій сировині та зменшити кількість відходів, що потрапляють на сміттєзвалища. Застосування інноваційних технологій у сфері управління твердими побутовими відходами дає можливість забезпечити більш ефективну переробку та використання відходів.

Країни Європейського Союзу встановлюють ефективні штрафні санкції для тих, хто порушує правила утилізації та управління твердими побутовими відходами. Деякі країни використовують системи торгівлі дозволами на викиди для контролю кількості відходів та сприяння перехідних до більш екологічно чистих технологій. Багато країн активно співпрацюють на міжнародному рівні для обміну найкращими практиками та ресурсами в галузі управління відходами. З огляду на різноманіття стратегій, важливо враховувати контекст, особливості країни та ставити перед собою конкретні цілі для поліпшення системи управління твердими побутовими відходами. Ці особливості роблять систему управління цими відходами в європейських країнах високоефективною та зорієнтованою на досягнення сталого розвитку [6; 7].

Наприклад, Німеччина славиться своєю добре налагодженою та ефективною системою управління твердими побутовими відходами. Німеччина активно підтримує ініціативи з сортування відходів у домогосподарствах. Це дає змогу вилучати різні матеріали, як-от папір, пластик, метал, скло та органічні відходи. Для зручності мешканців у багатьох місцях існують спеціальні контейнери та збірні пункти для різних видів відходів. Сміттєвози облад-

нані окремими секціями для різних видів відходів, що дає змогу їм транспортувати відходи без їх змішування. Дана країна визначається високим рівнем використання вторинної переробки та вторинної сировини в системі управління твердими побутовими відходами. Система відшкодування за пляшки й упаковку допомагає стимулювати повернення вторинної сировини, що сприяє застосуванню утилізаційних пунктів та зменшує кількість сміття.

Німеччина має одне з найсуворіших і ефективних законодавств щодо управління відходами у світі. Основними правовими актами, які регулюють цю сферу, є закони й положення, спрямовані на сприяння відновлюваності ресурсів, захист навколишнього середовища та зменшення відходів. Система управління ТПВ у Німеччині базується на принципах сталого розвитку, зменшення відходів та використання ресурсів у циклічних процесах. Такий підхід допомагає забезпечити високий рівень ефективності та екологічної придатності управління відходами у країні [8].

Швеція має високо розвинуту й успішну систему управління твердими побутовими відходами, яка визнана за свою високу ефективність та спрямована на використання відходів як ресурсу. Цій країні вдалося розробити одну з найефективніших систем управління відходами у світі. Більшість сміття тут переробляють або спалюють, отримуючи енергію, а старі звалища закривають. Одним із чинників успіху шведи вважають розвинуту співпрацю між різними учасниками процесу. У Швеції сфера управління відходами регулюється як нормами Європейського Союзу, так і національним законодавством. В основі усієї системи знаходиться ієрархія управління відходами, найвищий пріоритет у якій має запобігання [9]. Громадяни мають обов'язок сортувати відходи в домогосподарствах, використовуючи різні контейнери для паперу, скла, пластику, металу та інших відходів. Система роздільного збирання відходів підкріплюється мотивацією, адже згідно з місцевим законодавством, тарифи для населення різняться відповід-

но до кількості фракцій сортування. Однак плата є уніфікованою для кожної окремої системи збирання, встановлюється окремим муніципалітетом і має включати всі компоненти управління відходами разом із видатками на просвітництво [10].

Швеція активно використовує вторинну переробку та використання вторинної сировини. Понад 99% відходів застосовуються для виробництва енергії, або вони піддаються вторинній переробці. Також залучає технології теплової обробки відходів (включаючи спалювання), які генерують енергію для опалення та виробництва електроенергії. Існує система відшкодування за пляшки й упаковку, що стимулює повернення вторинної сировини та зменшує кількість сміття. Державне фінансування та суворе регулювання допомагають підтримувати та контролювати систему управління відходами. Швеція є прикладом розвиненої країни, яка вже створила ефективну систему управління твердими побутовими відходами, використовуючи підходи, спрямовані на екологічну сталість та оптимальне використання ресурсів.

У Польщі широко практикується роздільний збір твердих побутових відходів. Населення та підприємства зобов'язані сортувати відходи на різні категорії. Велика увага приділяється розбудові інфраструктури для роздільного збору відходів. У містах та селах розміщують контейнери для різних видів відходів, а також встановлюють спеціальні контейнери для небезпечних відходів. Польща докладає великих зусиль для розвитку сучасних технологій переробки твердих побутових відходів. У країні існує велика кількість установок зі вторинної переробки, де тверді побутові відходи перетворюються на вторинну сировину. Законодавство Польщі встановлює правила управління твердими побутовими відходами, а порушення цих правил може призвести до штрафів для підприємств та приватних осіб [11]. Система управління твердими побутовими відходами в Польщі є комплексною, зорієнтованою на збір, переробку та повторне використання відходів із метою зменшення впливу на навколиш-

не середовище. Основними компонентами такої системи є:

- *збір і транспортування*: це перший етап управління ТПВ. Відходи збираються з місць їхнього утворення, як-от домогосподарства, офіси, торгові точки тощо. Після збору вони транспортуються до місць подальшої обробки або утилізації;
- *сортування*: цей етап передбачає розділення відходів на різні категорії відповідно до їхнього типу (пластик, папір, скло, органічні відходи тощо). Це робиться для подальшої ефективної переробки та використання ресурсів;
- *переробка і утилізація*: після сортування відходи переробляються або утилізуються відповідно до їхньої придатності. Це може бути переробка пластику, скла, паперу, виготовлення компосту з органічних відходів, виробництво енергії з відходів тощо;
- *повторне використання та вторинна переробка*: важливим аспектом є збереження та повторне використання ресурсів із відходів. Це може включати вторинну переробку матеріалів для виробництва нових товарів або використання вторинних сировинних матеріалів у виробництві;
- *освіта та інформування громадськості*: важливо залучати громадськість до участі в системі управління ТПВ через освітні кампанії, інформаційні ресурси та стимулювальні заходи.

Успішна система управління твердими побутовими відходами полягає в ефективному плануванні, координації та співпраці між різними зацікавленими сторонами, включаючи урядові органи, приватний сектор, громадські організації та громадськість [12; 13].

Удосконалення системи управління твердими побутовими відходами (ТПВ) в Україні з урахуванням європейського досвіду є важливим завданням для забезпечення ефективного та сталого відходоуправління. Європейський досвід може надати низку корисних ідей і підходів для вдосконалення системи в Україні. Нижче

наведено кілька напрямів, які можна розглядати для адаптації європейського досвіду в українських реаліях.

Розвиток інфраструктури для сортування та переробки: один із ключових аспектів європейського досвіду — це наявність розвиненої інфраструктури для сортування та переробки відходів. Важливо інвестувати в будівництво сучасних сортувальних комплексів та заводів із переробки, що дасть змогу зменшити обсяги сміття, що потрапляє на сміттєзвалища.

Впровадження системи роздільного збирання: європейські країни активно застосовують системи роздільного збирання відходів на домогосподарствах. Це допомагає ефективніше використовувати ресурси та зменшує негативний вплив на навколишнє середовище.

Стимулювання вторинної переробки та використання відходів: Україні варто вивчити досвід Європи у сфері стимулювання вторинної переробки та застосування відходів у виробництві. Це може полягати у запровадженні програм зі збору відходів для подальшої переробки, а також фінансові заохочення для підприємств, які активно займаються вторинною переробкою.

Освіта та свідоме споживання: важливо розпочати системну роботу з освіти населення щодо раціонального споживання та управління відходами. Це може бути проведення освітніх кампаній, вивчення у шкільних програмах проблем управління відходами, а також створення інформаційних ресурсів для громадян.

Законодавча база: необхідно адаптувати законодавство в сфері управління відходами до європейських стандартів та норм. Це може бути розробка законів, що регулюють сферу управління відходами, встановлення стандартів якості для переробки відходів, а також визначення відповідальності за неправильне управління відходами.

Загалом, удосконалення системи управління твердими побутовими відходами в Україні з урахуванням європейського досвіду потребує комплексного підходу та

спільних зусиль уряду, бізнесу та громадськості.

ВИСНОВКИ

Отже, проаналізувавши досвід управління твердими побутовими відходами в європейських країнах встановлено, що організація системи управління твердими побутовими відходами в країнах ЄС відрізняється низкою особливостей, які визначаються екологічними стандартами, соціальними цінностями й стратегіями сталого розвитку, що спрямовані на розв'язання проблем, пов'язаних із утворенням, зберіганням, переробкою та утилізацією відходів.

З урахуванням європейського досвіду, запропоновано напрями вдосконалення системи управління твердими побутовими відходами в Україні, а саме: розвиток і впровадження систем сортування в домогосподарствах (дасть можливість ефективніше використовувати ресурси та забезпечити їх подальшу переробку); запровадження розширеної відповідальності виробника; збільшення кількості й розвиток сучасних об'єктів для переробки та вторинної переробки твердих побутових відходів;

залучення інвестицій для вдосконалення новітніх технологій у обробці твердих побутових відходів; введення ефективних систем стимулювання для підприємств, які займаються вторинною переробкою твердих побутових відходів; застосування сучасних технологій для відстеження обсягів твердих побутових відходів, їхнього складу та маршрутів перевезення; створення цифрових платформ для обміну інформацією між управлінням відходами, підприємствами та громадянами; заохочення програм і освітніх заходів для підвищення екологічної свідомості громади та їх активної участі в системі управління твердих побутових відходів; перегляд та удосконалення законодавства для відповідності сучасним екологічним вимогам; запровадження ефективних штрафів та заохочень для підприємств і громадян, що дотримуються чи порушують вимоги управління твердими побутовими відходами. Поліпшення системи управління твердими побутовими відходами в Україні може бути досягнуто за участю державних органів, бізнес-сектору та громадськості, спираючись на кращий досвід Європейського Союзу та інших країн.

ЛІТЕРАТУРА

1. Матвеева О., Шевченко Л., Савостенко Т. Удосконалення підходів щодо поводження з побутовими відходами України у напрямі Європейського зеленого курсу. *Аспекти публічного управління*. 2021. Т. 9. № 3. С. 5–12.
2. Мальований А. Як Євросоюз бореться зі сміттям. Інтерфакс-Україна. 2021. URL: <https://interfax.com.ua/news/blog/778998.html>.
3. Байцар Р.І., Депко Х.І. Нормативно-правове забезпечення сфери управління твердими побутовими відходами. *Автоматика, вимірювання та керування*. 2009. № 639. С. 206–210.
4. Білопільська О.О. Еколого-економічні основи управління системою поводження з твердими побутовими відходами: дис. ... канд. екон. наук: 08.00.06. Суми, 2014. 246 с.
5. Долішній М.І., Шевчук Л.Т., Шевчук Я.В. Територіальна суспільна система як об'єкт дослідження регіональної економіки України. Соціально-економічні дослідження в перехідний період. *Регіональні суспільні системи: зб. наук. праць*. 2004. Вип. 3. С. 3–14.
6. Шупик Д.С. Досвід правового регулювання поводження з відходами країн ЄС. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Сер.: Юридичні науки*. 2018. Т. 29 (68). № 6. С. 155–158.
7. Навроцький Р.Л. Досвід країн Європейського Союзу в сфері безпечного поводження з твердими побутовими відходами. *Економіка та суспільство*. 2016. № 7. С. 621–625.
8. Міндовкілля Німеччини: довгий шлях до наведення ладу з відходами. *Екологія. Право. Людина*. 2023. URL: <https://epl.org.ua/announces/mindovkillya-nimechynu-dovgyj-shlyah-do-navedennya-ladu-z-vidhodamy/>.
9. Луцька В. Менше 1% на звалищах: як працює шведська система поводження з відходами і чому може навчитися Україна. 2022. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2022/10/06/menshe-1-na-zvalyshhah-yak-praczuuye-shvedska-systema-povodzhennya-z-vidhodamy-i-chomu-mozhe-navchytysya-ukrayina/>.
10. Як працює менеджмент відходів у Швеції. 2023. URL: <https://www.ekoltava.org/2023/09/11/yak-pratsyuuye-menedzhment-vidhodiv-u-shvetsiyi>.
11. Міжнародний досвід: культура поводження зі сміттям у Польщі. *Поводження з відходами*. URL: <https://solvetpv.lviv.ua/mizhnarodnyj-dosvid-kultura-povodzhennya-iz-smittyam-u-polshhi/>.

12. Височанська М.Я. Розвиток економічного механізму управління твердими побутовими відходами в Україні. *Ефективна економіка. Електронне видання*. 2024. №1. URL: <https://www.nayka.com.ua/index.php/ee/article/view/2848/2884>. DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.1.2>.
13. Мішенін Є.В., Височанська М.Я. Стан сфери управління твердими побутовими відходами в Україні. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 4. С. 20–25. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2023.296369>.

REFERENCES

- Matveieva, O., Shevchenko, L. & Savostenko, T. (2021). Udoskonalennia pidkhodiv shchodo povodzhennia z pobutovymy vidkhodamy Ukrainy u napriami Yevropeiskoho zelenoho kursu [Improvement of approaches to household waste management in Ukraine towards the European Green Course]. *Aspekty publichnoho upravlinnia — Aspects of Public Administration*, 9 (3), 5–12 [in Ukrainian].
- Malovanyi, A. (2021). Yak Yevrosoiuz boretsia zi smittiam [How the European Union Fights Waste]. *Interfaks-Ukraina — Interfax-Ukraine*. URL: <https://interfax.com.ua/news/blog/778998.html> [in Ukrainian].
- Baitsar, R.I. & Depko, Kh.I. (2009). Normatyvno-pravove zabezpechennia sfery upravlinnia tverdymy pobutovymy vidkhodamy [Normative-legal support of the management of solid household waste]. *Avtomatyka, vymyriuvannia ta keruvannia — Automation, Measurement and Control*, 639, 206–210 [in Ukrainian].
- Bilopilka, O.O. (2014). Ekolohe-ekonomichni osnovy upravlinnia systemoiu povodzhennia z tverdymy pobutovymy vidkhodamy [Ecological-economic fundamentals of managing the system of solid household waste management]. *Candidate's thesis*. Sumy [in Ukrainian].
- Dolishnii, M.I., Shevchuk, L.T. & Shevchuk, Ya.V. (2004). Terytorialna suspilna systema yak ob'ekt doslidzhennia rehionalnoi ekonomiky Ukrainy [Ecological-economic fundamentals of managing the system of solid household waste management]. *Sotsialno-ekonomichni doslidzhennia v perekhidnyi period: Rehionalni suspilni systemy — Socio-Economic Studies in Transition Period: Regional Social Systems*, 3, 3–14 [in Ukrainian].
- Shupyk, D.S. (2018). Dosvid pravovoho rehuliuвання povodzhennia z vidkhodamy krain YeS [Experience of legal regulation of waste management in EU countries]. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seria: Yurydychni nauky — Scientific Notes of TNU named after V.I. Vernadsky. Series: Legal Sciences*, 29 (68), 6, 155–158 [in Ukrainian].
- Navrotskiy, R.L. (2016). Dosvid krain Yevropeiskoho Soiuzu v sferi bezpechnoho povodzhennia z tverdymy pobutovymy vidkhodamy [Experience of legal regulation of waste management in EU countries]. *Ekonomika ta suspilstvo — Economy and Society*, 7, 621–625 [in Ukrainian].
- Mindovkilla Nimechchyny: dovhyi shliakh do nave-dennia ladu z vidkhodamy [Ministry of Environment of Germany: a long way to bring order to waste]. (2023). *Ekolohiia. Pravo. Liudyna — Ecology. Law. Human*. URL: <https://epl.org.ua/announces/mindovkillya-nimechchyny-dovgyj-shlyah-do-navedennya-ladu-z-vidhodamy/> [in Ukrainian].
- Lutska, V. (2022). Menshe 1% na zvalyshchakh: yak pratsiuie shvedska systema povodzhennia z vidkhodamy i chomu mozhe navchytysia Ukraina [Less than 1% in landfills: how the Swedish waste management system works and what Ukraine can learn]. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2022/10/06/menshe-1-na-zvalyshchah-yak-praczuuye-shvedska-systema-povodzhennia-z-vidhodamy-i-chomu-mozhe-navchytysya-ukrayina/> [in Ukrainian].
- Yak pratsiuie menedzhment vidkhodiv u Shvetsii [How waste management works in Sweden]. (2023). URL: <https://www.ekoltava.org/2023/09/11/yak-pratsyuie-menedzhment-vidhodiv-u-shvetsiyi> [in Ukrainian].
- Mizhnarodnyi dosvid: kultura povodzhennia zi smittiam u Polshchi [International experience: waste management culture in Poland]. (n.d.). *Povodzhennia z vidkhodamy — Waste Management*. URL: <https://solvetpv.lviv.ua/mizhnarodnyj-dosvid-kultura-povodzhennia-iz-smittyam-u-polshhi/> [in Ukrainian].
- Vysochanska, M.Ya. (2024). Rozvytok ekonomichnoho mekhanizmu upravlinnia tverdymy pobutovymy vidkhodamy v Ukraini [Development of the economic mechanism of solid household waste management in Ukraine]. *Efektivna ekonomika. Elektronne vydannia — Effective Economics. Electronic Journal*, 1. URL: <https://www.nayka.com.ua/index.php/ee/article/view/2848/2884>. DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.1.2> [in Ukrainian].
- Mishenin, Ye.V. & Vysochanska, M.Ya. (2023). Stan sfery upravlinnia tverdymy pobutovymy vidkhodamy v Ukraini [State of the field of solid household waste management in Ukraine]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia — Sustainable environmental management*, 4, 20–25. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2023.296369> [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 12.02.2024

ОЦІНЮВАННЯ ВТРАТ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ НЕПРОТОЧНИХ ВОДОЙМ УНАСЛІДОК МІЛІТАРНОГО ВТРУЧАННЯ

Л.О. Сова

Національний університет «Києво-Могилянська академія» (м. Київ, Україна)
e-mail: l.sova@ukr.edu.ua; ORCID: 0000-0002-3197-9616

Досліджено проблеми формування сучасної системи оціночних індикаторів визначення шкоди біорізноманіттю. Зокрема, акцентовано на еколого-економічних особливостях оцінки втрат екосистемних послуг непроточних водойм унаслідок мілітарного втручання (на прикладі знищеного Каховського водосховища). Методологічною та теоретичною основою дослідження є ключові положення сучасної теорії екосистемного підходу (за методикою CICES) щодо оцінки екосистем за вибраними категоріями (типами) екосистемних послуг. Для досягнення поставленої мети в статті було використано систему загальнонаукових та спеціальних методів сучасної теорії екосистемного підходу та загальної екологічної оцінки, аналізу та синтезу, узагальнення й систематизації, абстрактно-логічний метод тощо. У процесі здійснення оцінки втрат екосистемних послуг знищеного Каховського водосховища для розрахунків було застосовано метод балових оцінок (за Я. Дідухом) та метод «перенесення вартості» (за алгоритмом Р. Костанзи). Запропоновано загальну структуру еколого-економічної оцінки втрат екосистемних послуг непроточних водойм, яка поєднує дві окремі складові: екологічну та економічну. Екологічна складова може включати балову, експертну та експериментальну оцінки. Економічна складова може включати оцінку втрат екосистемних послуг непроточних водойм: а) за їх основними видами (функціональними ознаками); б) загальну. Практичне застосування запропонованих методичних підходів дало змогу монетарно оцінити комплекс втрачених екосистемних послуг Каховського водосховища внаслідок військових дій на суму приблизно 27 452 889 000 дол. США, які повинні підлягати повному відшкодуванню з боку держави-агресора. Подальші дослідження мають перспективи в напрямі теоретико-методологічного обґрунтування й розроблення вітчизняного механізму оцінювання втрат екосистемних послуг поверхневих вод, зокрема непроточних водойм, унаслідок мілітарного втручання в контексті загальної екологічної оцінки й ґрунтуються на поглибленому опрацюванні балових, експертних та експериментальних оціночних індикаторів.

Ключові слова: екосистемний підхід, водна екосистема, еколого-економічна оцінка, збитки, Каховське водосховище, військові дії.

ВСТУП

Стратегія біорізноманіття ЄС до 2030 р. схвалює оцінювання екосистемних послуг й картографування на всій території спільноти. Зокрема, пункт 2.2.7 цього документа наголошує щодо необхідності відновлення прісноводних екосистем [1]. На проблемі відновлення та збереження прісної води через зміни клімату, що чинить серйозний тиск і створює ризики для агропродовольчої та водної екосистем, нещодавно було акцентовано на 28 Конференції сторін Рамкової конвенції ООН про зміни клімату (COP28), яка відбулася в грудні 2023 р.

в ОАЕ [2]. У цьому сенсі для України екологічна ситуація із відновленням і збереженням прісних водойм наразі ще більше загострилася у зв'язку з військовими діями, адже ще до початку повномасштабного російського вторгнення в країні вже були проблеми з дефіцитом і забрудненням водних ресурсів.

Незважаючи на те, що потреби суспільства в якісних екосистемних послугах прісної води невпинно зростають (нівелювання негативних наслідків глобальних змін клімату та екстремальних погодних явищ, забезпечення водою населення, потреб промисловості, зрошення, рекреації

тощо), можливості поверхневих прісноводних екосистем надавати такі послуги знижуються. Отже, на сучасному етапі погіршення екологічного стану прісноводних екосистем й втрата чи знищення їх екосистемних послуг, зокрема в результаті мілітарного втручання, є не просто серйозним викликом, а й загрозою для майбутнього України.

Тому, **мета статті** полягає в обґрунтуванні необхідності застосування екосистемного підходу під час оцінювання втрат екосистемних послуг непроточних водойм унаслідок мілітарного втручання.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Загальні підходи й положення щодо розкриття наукових засад екосистемного підходу, концепції екосистемних послуг та їх оцінювання репрезентовано й розкрито в численних фахових публікаціях зарубіжних і вітчизняних вчених: Дж. Фарлея [3], Р. Костанзи зі співавт. [4], О. Веклич та співавт. [5], Є. Мішеніна й Н. Дегтярь [6], І. Соловія [7], О. Фурдичка зі співавт. [8] та ін. Спеціальні дослідження окремих проблем оцінювання екосистемних послуг поверхневих вод в Україні висвітлені в працях Н. Загорчєвної [9], В. Колмакової та О. Боцули [10], Т. Сафранової зі співавт. [11]. На окрему увагу заслуговують також дослідження різних аспектів екосистемних послуг непроточних водойм, зокрема озер і водосховищ Г. Гункель та співавт. [12], Н. Іванової [13].

У міжнародній практиці для оцінювання стану екосистем набуває поширеності методика CICES (2018) [14], яка ґрунтується на попередніх рекомендаціях проєктів ТЕЕВ (2010) та МЕА (2005), й включає такі три категорії послуг: «забезпечення» (*provisioning*), «регулювання та підтримки» (*regulation and maintenance*) та «культурні» (*cultural*). Іноді підтримувальні й регулювальні послуги доцільно розглядати окремо за оцінюванням масштабності процесів: до регулювальних послуг належать процеси регулювання в середині самих екосистем, тоді як послуги підтримки, за-

звичай, є характерними для глобальних процесів.

Сучасну теорію еколого-економічної оцінки екосистемних послуг і біорізноманіття також поглиблюють принципи й процедури фізичного та вартісного обліку природного капіталу територій, що базуються на структурі, а також базових положеннях Системи національних рахунків (СНР) (*System of Environmental-Economic Accounting, 2021*) [15], основних положеннях Стратегії біорізноманіття ЄС до 2030 р.

Огляд попередніх досліджень і публікацій свідчить, що незважаючи на значну кількість напрацювань щодо оцінювання екосистемних послуг, наразі відсутні уніфіковані методологічні й методичні підходи щодо застосування екосистемного підходу у процесі еколого-економічного оцінювання шкоди поверхневим водам унаслідок мілітарного втручання (за винятком розробок А. Варухи [16], Я. Дідуха [17], коментарів Робочої групи НАН України [18]).

Отже, зазначена проблема потребує поглибленого дослідження, зокрема оцінювання втрат екосистемних послуг непроточних водойм.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для досягнення мети статті було використано систему загальнонаукових та спеціальних методів і підходів. Зокрема, методологічним та теоретичним підґрунтям дослідження є ключові положення сучасної теорії екосистемного підходу (за методикою CICES, 2018) щодо оцінювання екосистем за виділеними категоріями (видами) екосистемних послуг у контексті загальної екологічної оцінки. Також у дослідженні було застосовано методи аналізу й синтезу, узагальнення, абстрактно-логічний — для огляду літературних джерел, виявлення сутності дефініцій непроточних водойм та екосистемних послуг, які ними надаються. За здійснення оцінки втрат екосистемних послуг непроточних водойм (на прикладі знищеного Каховського водосховища) для розрахунків було вико-

ристано метод балових оцінок та метод «перенесення вартості» (за алгоритмом Р. Костанзи).

Під час проведення оцінки втрат екосистемних послуг прісноводних екосистем непроточних водойм (на прикладі знищеного Каховського водосховища) для розрахунків було здійснено за методом балових оцінок та методом «перенесення вартості» (за алгоритмом Р. Костанзи).

Сутність цього методу полягає у визначенні частки певної площі водної поверхні в загальній площі Землі та, пропорційно, частки вартості її екосистемних послуг у загальній вартості сумарних екосистемних послуг Землі (33 трлн дол. США за розрахунками Р. Костанзи).

Загалом, втрати екосистемних послуг непроточних водойм (за видами екосистемних послуг) можна представити такою формулою:

$$B = BZ + BPP + BK, \quad (1)$$

де B — загальні втрати екосистемних послуг непроточних водойм, дол. США; BZ — втрата забезпечувальних послуг, дол. США; BPP — втрата регулювальних і підтримувальних послуг, дол. США; BK — втрата культурних і рекреаційних послуг, дол. США.

Подібні дослідження із застосуванням цього методу в Україні вже були виконані фахівцями ДУ ІЕПСР НАН України для оцінювання екосистемних послуг, пов'язаних із водою, в межах територіальної громади [5].

Тоді для обрахунку вартості повного комплексу втрачених екосистемних послуг знищеного Каховського водосховища (Uw), можна скористатися загальною формулою [5]:

$$Sw/S = Uw/US, \text{ або } Uw = (Sw \cdot Us)/S, \quad (2)$$

де Sw — площа поверхні Каховського водосховища, км²; S — площа поверхні Землі, км²; Uw — вартість повного комплексу екосистемних послуг Каховського водосховища, дол. США; Us — вартість повного комплексу екосистемних послуг Землі, дол. США [5].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Практична цінність екосистемних послуг визначається вигодами для людини та суспільства. До того ж «між послугами і вигодами немає однозначної відповідності: одна послуга генерує декілька вигід, а для отримання певної вигоди зазвичай необхідно декілька послуг; вигоди можуть не збігатися з послугами у просторі та часі» [16].

Широке використання екосистемних послуг поверхневих вод є невід'ємною складовою сталого функціонування й розвитку низки галузей економіки, забезпечення добробуту й підвищення якості життя населення. Безпосередньо потік вигід, який надається екосистемами непроточних водойм, зокрема водосховищами, використовується в аграрній сфері, різних галузях економіки, лісовому господарстві, енергетиці, рекреації та туризмі, сфері охорони здоров'я тощо. Яскравим прикладом, який деталізує сучасний стан екосистем України у вартісному вимірі, є оцінка екосистемних послуг для прибережних і внутрішніх водно-болотних угідь (водосховища належать саме до них), — це 49 000 дол. США/га/рік; пасовищ і лук — 8 000 дол. США/га/рік; річок та озер — 20 700 дол. США/га/рік [18].

Загальновідомо, що вплив військових дій завжди негативно позначався на стані водних екосистем та можливостях надання ними екосистемних послуг. На наслідках війни, які можуть матеріалізуватися як безпосередньо, викликаючи збитки водним ресурсам та їх забрудненню залишками зброї, так і опосередковано, збільшуючи частоту або інтенсивність згубних процесів, акцентують [19].

Наразі значний негативний вплив військових дій на водні екосистеми України та надання ними екосистемних послуг пронизує всі сфери суспільного життя й виходить за межі національних кордонів. Окрім прямого негативного впливу на якість води, ускладнилася й загальна екологічна ситуація з водоймами, а саме: внаслідок військових дій та спричинених

ними техногенних забруднень, руйнування мостів, дамб та берегової лінії, отруєння нафтопродуктами й важкими металами, багато невеликих річок і ставків України зазнали патологічного впливу на біорізноманіття. Зокрема, у водоймах гине риба, порушується життєвий і міграційний цикл водних птахів, водойма втрачає здатність до самоочищення та природного відновлення [20].

Незважаючи на те, що найбільш узагальнено екосистемні послуги поверхневих вод можна розглядати як блага, які людство отримує від водних екосистем, більш детально (згідно з [21]) їх також конкретизують як послуги по запобіганню повеням та пом'якшенню їх наслідків; регулюванню стоку та водопостачання; покращенню якості поверхневих і підземних вод; зменшенню ерозії, стабілізації берегів річок та берегових ліній, зниженню ймовірності зсувів; поліпшенню інфільтрації води й сприяння накопиченню води в ґрунті; полегшенню живлення підземних вод тощо. Екосистемні послуги поверхневих вод також включають культурні послуги, до яких можна віднести сприятливий рекреаційний, естетичний та духовний вплив.

Отже, якщо загальне оцінювання екосистемних послуг поверхневих вод відбувається за їх основними видами (функціональними ознаками): *забезпечення, регулювання й підтримка та культурний вплив*, які надаються водними екосистемами для сталого функціонування навколишнього природного середовища, тоді, на нашу думку, логічно й до оцінювання втрат екосистемних послуг непроточних водойм

застосовувати аналогічні зазначені вище функціональні ознаки за їх основними видами, які систематизовано в *табл. 1*.

Безпосередній вплив порушених (деградованих) екосистемних послуг поверхневих вод унаслідок військових дій на погіршення біорізноманіття також можна проілюструвати на такому прикладі, а саме: «під час детонації ракет та артилерійських снарядів утворюється низка хімічних сполук, які потрапляють в атмосферу, ґрунти, водне середовище, впливають на зміни клімату, можуть спричинити кислотні дощі, які змінюють рН ґрунту і викликають опіки у рослин, негативно впливають на організм тварин та людини. До того ж металеві уламки снарядів, які містять у своєму складі речовини, що проникають у ґрунт, можуть мігрувати до ґрунтових вод і потрапляти до харчових ланцюгів. У результаті в ґрунтах, просочених паливно-мастильними матеріалами, погіршуються водний і повітряний режими, колообіг поживних речовин, порушується кореневе живлення рослин, гальмується їх розвиток» [22].

У цьому контексті необхідно акцентувати, що одним із наймасштабніших екологічних злочинів від військових дій став підірив дамби Каховської ГЕС 6 червня 2023 р., який ще матиме довготривалі безпрецедентні наслідки в майбутньому не лише для водної екосистеми України, але й для біорізноманіття загалом. Зазначимо, що у самій своїй суті знищена прісноводна екосистема Каховського водосховища належить до типу замкнених непроточних водойм.

Таблиця 1. Оцінювання втрат екосистемних послуг непроточних водойм (за видами екосистемних послуг)

Види втрат екосистемних послуг		
Втрата забезпечувальних послуг (забезпечення питною водою й потреб зрошення; харчовими продуктами; сировиною; генетичними ресурсами)	Втрата регулювальних і підтримувальних послуг (регулювання клімату; самоочищення води; відтворення й колообігу води, поживних речовин; фотосинтезу)	Втрата культурних і рекреаційних послуг (культурного розмаїття і рекреаційної спроможності; духовних; естетичних і освітніх цінностей)

Примітка: * авторська розробка за [14].

Наразі існують різні оцінки наслідків цієї екологічної катастрофи. Так, за деякими оцінками, орієнтовна сума збитків довкіллю через підрив дамби Каховської ГЕС становить понад 55 млрд грн, при цьому лише екологічні наслідки цієї трагедії охоплюють щонайменше 5 тис. км², які були затоплені чи осушені [23].

За іншими оцінками, через підрив Каховської ГЕС наша держава зазнала збитків на 4 млрд дол. США. А загалом від руйнування гідротехнічних об'єктів, очисних, каналізаційних споруд, забруднення річкових і штучних водойм та морської води збитки становлять 7,9 млрд дол. Також від початку повномасштабної агресії в Україні знищено 724 гідротехнічні споруди, що сприяє нестачі питної й технічної води в окремих регіонах, а в інших регіонах — до затоплення територій [24].

Отже, екологічні наслідки знищення Каховського водосховища по суті є екологічною катастрофою світового масштабу. На нашу думку, для оцінювання наслідків такої глобальної катастрофи заслуговує на увагу застосування еколого-економічної оцінки втрат екосистемних послуг непроточних водойм. Загальна структура такої еколого-економічної оцінки включає дві окремі складові: *екологічну* та *економічну*. З огляду на те, що соціальна складова ви-

ходить за межі нашого дослідження, вона також може мати важливе пряме чи опосередковане значення. Відтак у процесі оцінювання втрат екосистемних послуг поверхневих вод спочатку потрібно ідентифікувати екологічну й економічну складові загальної оцінки, потім економічну складову у вартісному вимірі скоригувати за допомогою вибраних екологічних показників (*рис.*).

У контексті застосування екосистемного підходу в сучасній світовій практиці в економічному аспекті одним із найпоширеніших методів еколого-економічного оцінювання екосистемних послуг тієї чи іншої території є метод «перенесення вартості» (за алгоритмом Р. Костанзи) [4].

Отже, застосування зазначеного методу, дає певне загальне уявлення про вартісну оцінку повного комплексу екосистемних послуг поверхневих вод, без деталізації й уточнення цих послуг за їх видами. Наразі, за нашими підрахунками, скориставшись інфляційним калькулятором, який конвертує вартість долара в поточних цінах, вартість екосистемних послуг Землі сягає 65,16 трлн дол. США (в цінах 2022 р.)

Так, загальна площа водної поверхні Каховського водосховища до знищення сягала 2150 км², що становить 0,0004222% від площі поверхні Землі (510,072 млн км²).

Тоді вартість повного комплексу втрачених екосистемних послуг Каховського водосховища U_w , за нашими підрахунками, сягала 27 452 889 000 дол. США, або 10 047 757 374 грн (по курсу 36,6 грн/дол. США станом на 06.06.2023).

Зазначимо, що наразі проблема відновлення Каховської ГЕС та водосховища носить дискусійний характер [25]. З огляду на те, що Каховська ГЕС та водосховище до руйнації виконували низку важливих екосистемних функцій (забезпечення електроенергією, судноплавство, водопостачання, зрошення тощо), ця територія в сучасному стані



Застосування екосистемного підходу до оцінювання втрат екосистемних послуг непроточних водойм

Примітка: авторська розробка.

також може бути важливою для збереження біорізноманіття й має здатність надавати інші види цінних екосистемних послуг. Наприклад, такими перспективними послугами на цій території можуть стати: водоплавне птахівництво, аквакультура, створення вербових плантацій для біопалива, впровадження певних видів рослин для розвитку сільського господарства [25].

В екологічному аспекті для оцінювання впливу екосистемних послуг поверхневих вод на збереження біорізноманіття, на нашу думку, заслуговує на увагу узагальнена методика оцінки збитків у контексті застосування екосистемного підходу в балах за трьома ключовими критеріями: *ступінь пошкодження, стійкість та вразливість* на прикладі урбоекосистем, запропонована акад. НАН України Я.П. Дідухом [17]. Сутність цієї методики полягає в тому, що всі урбоекосистеми розподіляються за такими п'ятьма категоріями:

- А (понад 80% балів) — ремонту не підлягають і потребують формування нової інфраструктури;
- Б (60–79%) — потребують значного додаткового (зовнішнього) фінансування;
- В (40–59%) — ремонтні та відновлювальні роботи потребують додаткової фінансової та матеріальної допомоги;
- Г (20–39%) — збитки незначні, ліквідація наслідків можлива за рахунок власних резервів на рівні ОТГ;
- Д (до 20%) — територія фактично не зазнала пошкоджень.

Отже, скориставшись вище запропонованою баловою методикою для оцінювання збитків, знищене Каховське водосховище можна віднести до категорії А й оцінити в 100 балів. Тоді, на нашу думку, одним із можливих варіантів практичного застосування цієї балової методики може бути корегування вартості розрахованого вище повного комплексу втрачених екосистемних послуг Каховського водосховища ($Uw = 274\,528\,890$ дол. США) на 100 балів (100% — повне знищення об'єкта). Це дає підстави, наприклад, щонайменше у 100 разів для цього випадку збільшити отриманий раніше розрахунковий результат (якщо враховувати пролонговані наслідки збитків від знищення водосховища в майбутньому, то результати будуть ще значно вищими). Отже, вартість скорегованого повного комплексу втрачених екосистемних послуг Каховського водосховища матиме такий вигляд: $Uw_{\text{кор}} = 27\,452\,889\,000$ дол. США. Застосування вище зазначеної методики балових оцінок [17] дає можливість у спрощеному вигляді зробити певні узагальнення, які можуть стати підґрунтям для подальшої поглибленої еколого-економічної оцінки втрачених чи порушених екосистемних послуг не лише непроточних водойм, але й поверхневих вод загалом.

Отже, за результатами проведеного дослідження можна запропонувати таку структуру еколого-економічної оцінки втрат екосистемних послуг непроточних водойм (табл. 2).

Таблиця 2. Структура еколого-економічної оцінки втрат екосистемних послуг непроточних водойм

Економічна складова втрат			Екологічна складова втрат		
1	За видами втрат екосистемних послуг	$V = VЗ + ВРП + ВК$	1	Балова	80–100% — повне знищення; 60–79% — відновлення можливе за рахунок значних додаткових (зовнішніх) коштів; 40–59% — відновлення можливе за рахунок значних коштів; 20–39% — відновлення можливе за рахунок резервів ОТГ; до 20% — втрати незначні, самовідновлення [17]

Економічна складова втрат			Екологічна складова втрат		
2	Загальна (за алгоритмом Р. Костанзи)	$Uw = (Sw \cdot Us) / S$	2	Експертна	Врахування експертних оцінок
			3	Експериментальна	Врахування результатів лабораторних досліджень

Примітка: авторська розробка.

Наступним кроком в умовах післявоєнного відновлення України, зокрема для збереження біорізноманіття, має стати розробка наукових підходів щодо формування механізму компенсації втрачених екосистемних послуг поверхневих вод, який ґрунтується на їх повній еколого-економічній оцінці в контексті застосування екосистемного підходу й підлягає відшкодуванню з боку держави-агресора.

ВИСНОВКИ

Для екосистем непроточних водойм доцільне застосування загальних концептуальних підходів щодо оцінювання втрачених екосистемних послуг поверхневих вод. У контексті застосування екосистемного підходу для еколого-економічного оцінювання втрачених екосистемних послуг непроточних водойм в економічному

аспекті запропоновано використання методу «перенесення вартості» (за алгоритмом Р. Костанзи), в екологічному аспекті — балових оцінок (за методикою Я. Дідуха). Рекомендовані методичні підходи дають змогу оцінити комплекс втрачених екосистемних послуг Каховського водосховища внаслідок військових дій близько 27 452 889 000 дол. США, які повинні підлягати відшкодуванню з боку держави-агресора.

Подальші дослідження мають перспективи в напрямі поглибленого теоретико-методологічного обґрунтування й розроблення вітчизняного механізму оцінювання втрат екосистемних послуг поверхневих вод, зокрема непроточних водойм, унаслідок мілітарного втручання із позицій екосистемного підходу в контексті загальної екологічної оцінки.

ЛІТЕРАТУРА

- Куземко А. Стратегія біорізноманіття ЄС до 2030 р. Повернення природи у наше життя. Чернівці: Друк Арт, 2020. URL: <https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/10/Stratehiia.pdf>.
- COP28. Груд. 2023. URL: <https://www.cop28.com/>.
- Farley J. and Costanza R. Payments for ecosystem services: from local to global. *Ecological economics*. 2010. Vol. 69. № 11. P. 2069–2074.
- Costanza R., Arge R., Groot R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 1997. Vol. 387. P. 253–260.
- Веклич О.О., Бойко Є.О., Колмакова В.М., Патока І.В. Прикладна теорія оцінювання екосистемних активів територіальних громад. Суми: Університетська книга, 2022. 246 с.
- Мішенін Є., Дегтярь Н. Економіка екосистемних послуг: теоретико-методологічні основи. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2015. № 2. С. 243–257.
- Соловій І. Концепція плати за послуги екосистем: світовий досвід і перспективи її впровадження у лісовому секторі. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2016. Вип. 14. С. 252–258.
- Фурдичко О.І., Дребот О.І., Кучма Т.Л., Льєнко Т.В. Оцінювання екосистемних послуг лісів за даними дистанційного зондування землі. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 4. С. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2019.189436>.
- Закорчевна Н. Оценка экосистемных услуг в бассейне Нижнего Днестра. 2019. URL: <https://iwlearn.net/resolveuid/9a6d0000-7c18-4546-bcbc-5dcb9a51f8d2>.
- Колмакова В.М., Боцула О.І. Підвищення ефективності оцінювання екосистемних активів, пов'язаних із водою. *Збалансоване природокористування*. 2022. № 2. С. 31–38. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2022.261246>.
- Сафранов Т.А., Берлінський М.А., Хадри Ю.Е., Сліже М.О. Оцінка екосистемних послуг північно-західної частини Чорного моря: стан, проблеми та перспективи. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. 2022. № 56. С. 255–263. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-19>.
- Gunkel G., Lima D., Selge F., Sobral M. and Calado S. Aquatic ecosystem services of reservoirs in semi-arid

- areas: sustainability and reservoir management. *River Basin Management*. VIII. 2015. Vol. 1. P. 187–200.
13. Іванова Н.О. Екосистемні послуги як інструмент в системі сталого управління водними ресурсами. *Матеріали VI-го Всеукраїнського пленеру з питань природничих наук* (м. Одеса, 25–26 липн. 2022 р.). Одеса, 2022. С. 36–39.
 14. CICES. 2023. URL: <https://cices.eu/>
 15. System of Environmental-Economic Accounting – Ecosystem Accounting. Final Draft. Version 5. 2021 Feb. 350 p.
 16. Варуха А. Огляд підходів з оцінки екосистемних послуг через призму їхнього застосування для визначення збитків, завданих військовими діями РФ на території України. Львів: Компанія Манус-крипт, 2022. 56 с.
 17. Дідух Я.П. Екосистемний підхід до оцінки збитків, завданих воєнними діями. *Вісник Національної академії наук України*. 2022. № 6. С. 16–25. DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2022.06.017>.
 18. Чи потрібно відновлювати Каховське водосховище? URL: <https://nikopol.nikopolnews.net/ukraina/vidnovliuvaty-kakhovske/>.
 19. Schillinger J., Özerol G., Güven-Griemert S. and Heldeweg M. Water in war: Understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management. *WIREs Water*. 2020. Vol. 7. P. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.1002/wat2.1480>.
 20. Панченко Л. Озера з мертвої риби та отруєна річка: що відбувається з водоймами на деокупованих територіях. 2023. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2023/03/02/ozera-z-mertvoyi-ryby-ta-otruyena-richka-shho-vidbuvaetsya-z-vodojmamy-na-deokupovanyh-terytoriyah/>.
 21. Economic Commission for Europe, Recommendations on Payments for Ecosystem Services in Integrated Water Resources Management. New York: United Nations. 2007. 60 p.
 22. Омельчук О., Садогурська С. Природа та війна: як військове вторгнення Росії впливає на довкілля України. *Дзеркало тижня*. 27.03.2022. URL: <https://zn.ua/ukr/ECOLOGY/priroda-stohne-vidvijni.html>.
 23. Новицький Д. Підрив Каховської ГЕС: чотири категорії наслідків та план подальших дій. *Українська правда*. 14.06.2023. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/06/14/701156/>.
 24. Козоріз В. Екоцид: як війна впливає на довкілля. *Урядовий кур'єр*. 2.08.2023. URL: <https://ukurier.gov.ua/uk/articles/ekocid-yak-vijna-vplivaye-nadovkillya/>.
 25. Дідух Я.П. Якою буде доля Каховського моря? URL: <https://ecoaction.org.ua/dolia-kakhovskohomoria.html>.

REFERENCES

1. Kuzemko, A. (2020). Stratehiia bioriznomanittia YeS do 2030 roku. Povernennia pryrody u nashe zhyttia [Biodiversity Strategy of the EU until 2030. Bringing nature back into our lives]. Chernivtsi. URL: <https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/10/Stratehiia.pdf> [in Ukrainian].
2. COP28 (2023). URL: <https://www.cop28.com/> [in English].
3. Farley, J. & Costanza, R. (2010). Payments for ecosystem services: from local to global. *Ecological economics*, 69, 11, 2069–2074 [in English].
4. Costanza, R., Arge, R., Groot, R. et al. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253–260 [in English].
5. Veklych, O.O., Boiko, Ye.O., Kolmakova, V.M. & Patoka, I.V. (2022). *Prykladna teoriia otsiniuvannia ekosystemnykh aktyviv terytorialnykh hromad [Applied theory of assessment of ecosystem assets of territorial communities]*. Sumy: Universtyetska knyha [in Ukrainian].
6. Mishenin, Ye. & Dehtiar, N. (2015). Ekonomika ekosystemnykh posluh: teoretyko-metodolohichni osnovy [Economics of ecosystem services: theoretical and methodological foundations]. *Marketing i menezhment innovatsii — Marketing and innovation management*, 2, 243–257 [in Ukrainian].
7. Solovii, I. (2016). Kontseptsiia platy za posluhy ekosystem: svitovyi dosvid i perspektyvy yii vprovadzhennia u lisovomu sektori [The concept of payment for ecosystem services: global experience and prospects for its implementation in the forest sector]. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy — Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 14, 252–258 [in Ukrainian].
8. Furdychko, O.I., Drebot, O.I., Kuchma, T.L. & Iliencko, T.V. (2019). Otsiniuvannia ekosystemnykh posluh lisiv za danymy dystantsiinoho zonduvannia zemli [Assessment of forest ecosystem services based on remote sensing data]. *Ahroekolohichniy zhurnal — Agroecological journal*, 4, 6–16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2019.1894364> [in Ukrainian].
9. Zakorchevna, N. (2019). Otsenka ekosystemnykh usluh v basseine Nyzhnego Dnestra [Assessment of ecosystem services in the Lower Dniester basin]. URL: <https://iwllearn.net/resolveuid/9a6d0000-7c18-4546-bc6c-5dcb9a51f8d2> [in Russian].
10. Kolmakova, V. & Botsula, O. (2022). Pidvyshchennia efektyvnosti otsiniuvannia ekosystemnykh aktyviv, poviazanykh iz vodoiu [Improving the efficiency of assessment of water-related ecosystem assets]. *Zbalsanovane pryrodokorystuvannia — Balanced nature management*, 2, 31–38. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2022.261246> [in Ukrainian].
11. Safranov, T.A., Berlinskyi, M.A., Khadri, Yu.E. & Slizhe, M.O. (2022). Otsinka ekosystemnykh posluh pivnichno-zakhidnoi chastyny Chornoho moria: stan, problemy ta perspektyvy [Assessment of ecosystem services of the northwestern part of the Black Sea: state, problems and prospects]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina — Bulletin of Kharkiv National University named after*

- V.N. Karazin, 56, 255–263. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-19> [in Ukrainian].
12. Gunkel, G., Lima, D., Selge, F., Sobral, M. & Calado, S. (2015). Aquatic ecosystem services of reservoirs in semi-arid areas: sustainability and reservoir management. *River Basin Management VIII, 1*, 187–200 [in English].
 13. Ivanova, N.O. (2022). Ekosystemni posluhy yak instrument v systemi staloho upravlinnia vodnymy resursamy [Ecosystem services as a tool in the system of sustainable management of water resources]. *Materialy VI-ho Vseukrainskoho pleneru z pytan pryrodnych nauk [Materials of the 6th All-Ukrainian Plein Air on Natural Sciences]*. (pp. 36–39). Odesa [in Ukrainian].
 14. CICES (2023). URL: <https://cices.eu/> [in English].
 15. United Nations (2021). System of Environmental-Economic Accounting – Ecosystem Accounting. Final Draft. Version 5 [in English].
 16. Varukha, A. (2022). *Ohliad pidkhodiv z otsinky ekosystemnykh posluh cherez pryzmu yikhnoho zastosuvannia dlia vyznachennia zbytkiv, zavdanykh viiskovymy diiamy rf na terytorii Ukrainy [An overview of approaches to the assessment of ecosystem services through the prism of their application to determine the damage caused by the military actions of the Russian Federation on the territory of Ukraine]*. Lviv [in Ukrainian].
 17. Didukh, Ya. (2022). Ekosystemnyi pidkhid do otsinky zbytkiv, zavdanykh voennyimi diiamy [An ecosystem approach to the assessment of damage caused by military actions]. *Visnyk Natsionalnoi Akademii nauk Ukrainy — Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine, 6*, 16–25. DOI: <https://doi.org/10.15407/vsn2022.06.017> [in Ukrainian].
 18. Chy potribno vidnovliuvaty Kakhovske vodoshkovy-shche? [Is it necessary to restore the Kakhov reservoir?]. (2023). URL: <https://nikopol.nikopolnews.net/ukraina/vidnovliuvaty-kakhovske/> [in Ukrainian].
 19. Schillinger, J., Özerol, G., Güven-Griemert, S. & Heldeweg, M. (2020). Water in war: Understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management. *WIREs Water, 7*, 1–19. DOI: <https://doi.org/10.1002/wat2.1480> [in English].
 20. Panchenko, L. (2023). Oзера z mertvoi ryby ta otruiena richka: shcho vidbuvaietsia z vodoimamy na deokupovanykh terytoriiakh [Lakes of dead fish and a poisoned river: what happens to water bodies in the de-occupied territories]. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2023/03/02/ozera-z-mertvoyi-ryby-ta-otruyena-richka-shho-vidbuvayetsya-z-vodojmamy-na-deokupovanykh-terytoriyah/> [in Ukrainian].
 21. Economic Commission for Europe (2007). Recommendations on Payments for Ecosystem Services in Integrated Water Resources Management. New York: United Nations. URL: <http://www.unece.org/index.php?id=11663> [in English].
 22. Omelchuk, O. & Sadohurska, S. (2022). Pryroda ta viina: yak viiskove vtorhnennia Rosii vplyvaie na dovkillia Ukrainy [Nature and War: How Russia's Military Invasion Affects Ukraine's Environment]. *Dzerkalo tyzhnia — Mirror of the week. 27.03*. URL: <https://zn.ua/ukr/ECOLOGYPriroda-stohne-vidvijni.html> [in Ukrainian].
 23. Novytskyi, D. (2023). Pidryv Kakhovskoi HES: chotyry katehorii naslidkiv ta plan podalshykh dii [The undermining of the Kakhovskaya HPP: four categories of consequences and a plan for further actions]. *Ukrayins'ka pravda — Ukrainian pravda. 14.06*. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/06/14/701156/> [in Ukrainian].
 24. Kozoriz, V. (2023). Ekotsyd: yak viina vplyvaie na dovkillia [Ecocide: How War Affects the Environment]. *Uriadovyi kurier — Government courier. 2.08*. URL: <https://ukurier.gov.ua/uk/articles/ekocid-yak-vijna-vplyvaye-na-dovkillia/> [in Ukrainian].
 25. Didukh, Ya.P. (2023). Yakoiu bude dolia Kakhovskoho moria? [What will be the fate of the Kakhovsky Sea?]. URL: <https://ecoaction.org.ua/dolia-kakhovskohomoria.html> [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 23.01.2024

УМІСТ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ДОННИХ ВІДКЛАДАХ ОСУШЕНОГО КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

О.М. Грищенко¹, Р.П. Паламарчук¹, І.В. Циганов²,
В.О. Сироватко³, Ю.М. Яценко¹

¹ Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України» (м. Київ, Україна)

e-mail: grischenkoel@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1241-7183

e-mail: prp777@ukr.net; ORCID: 0000-0002-5965-1305

e-mail: yuliya_yatsenko@ukr.net; ORCID: 0009-0006-3402-3093

² Запорізька філія ДУ «Держґрунтохорона» (м. Запоріжжя, Україна)

e-mail: zprgrunt@ukr.net; ORCID: 0009-0000-3478-9968

³ Дніпропетровська філія ДУ «Держґрунтохорона»

(с. Дослідне, Дніпровський р-н, Дніпропетровська обл., Україна)

e-mail: dnprometrovsk@iogu.gov.ua; ORCID: 0009-0002-2576-3269

У статті висвітлено екологічну небезпеку руйнування дамби Каховської ГЕС та осушення Каховського водосховища. Наведено результати експериментальних досліджень вмісту рухомих сполук та валових форм важких металів у п'яти пробах донних відкладів, відібраних із дна осушених водойм на території Кушугумської громади Запорізького р-ну Запорізької обл. Дві проби відібрано з дна колишньої плавневої зони (сmt Балабине), дві — з дна колишнього вапнякового кар'єру, який сполучався з плавневою частиною Дніпра (сmt Кушугум) та одна проба відібрана з відкритої території Каховського водосховища (сmt Малокатеринівка). За результатами досліджень встановлено перевищення ГДК (для ґрунту) рухомих сполук свинцю, цинку, кадмію та нікелю в усіх досліджуваних пробах донних відкладів. Перевищення ГДК (ґрунту) за вмістом валових форм свинцю встановлено у п'яти пробах донних відкладів. Збільшення ГДК ґрунту за вмістом валових форм кадмію і марганцю та рухомих сполук міді, нікелю, кобальту й марганцю не виявлено. ГДК вмісту рухомих сполук заліза й валових форм цинку, міді, нікелю, кобальту та заліза не регламентується. Найвищий ступінь забруднення донних відкладів за вмістом: рухомих сполук та валових форм свинцю й нікелю виявлено у пробах відібраних з дна колишнього вапнякового кар'єру (сmt Кушугум Запорізької обл.); цинку — у пробі, відібраній із дна колишньої плавневої зони на території сmt Балабине та пробі — з відкритої території Каховського водосховища на території сmt Малокатеринівка; кадмію — у пробі відібраній із дна колишнього вапнякового кар'єру на території сmt Балабине та пробі — з відкритої території Каховського водосховища на території сmt Малокатеринівка. За результатами кореляційного аналізу встановлено надзвичайно сильну залежність між вмістом рухомих сполук важких металів та їх валових форм.

Ключові слова: руйнування греблі Каховської ГЕС, забруднювачі, рухомі сполуки, валова форма, клас безпеки, кореляція.

ВСТУП

Каховське водосховище створено у 1955–1958 рр. на Дніпрі під час будівництва Каховської ГЕС. Площа водосховища становила 2155 км², об'єм води — майже 18,2 км³. Каховське водосховище було найнижчим у каскаді дніпровських водосховищ, простягалось на 230 км уздовж Дніпра територіями трьох областей — Дніпропетровської, Запорізької та Херсонської. Слід

зауважити, що водосховищу була властива найменша у каскаді дніпровських водосховищ проточність (не більше 1,6–1,8 см/с), а водообмін не перевищував 2–3 рази впродовж року. Тому водосховище було дуже замуленим (понад 82% акваторії), а товщина донних відкладів варіювала від 0,1 до 1 м (в середньому по акваторії 0,19 м) [1; 2].

Донні відклади відіграють особливу роль у житті водойм, оскільки беруть участь у кругообігу речовин, відобража-

ють їх стан і тенденції щодо накопичення екополютантів, дають змогу оцінити в просторі та часі зміни розподілу і міграції компонентів у системі «вода – донні відклади» [3; 4]. За даними науковців, мули та донні відкладення природних водойм і водосховищ містять різні забруднювачі органічного та неорганічного походження, десятиліттями потрапляли у водойми з неочищеними скидами промисловості тощо [5–7]. Вони є активними накопичувачами важких металів, на вміст яких у донних відкладах водойм впливає кілька чинників, серед яких є геохімічні особливості їх басейну, наявність джерел надходження важких металів, вміст гумінових речовин тощо [3; 8; 9].

Донні відклади можна розглядати як індикатори забруднення водного об'єкта та навколишнього природного середовища загалом [4; 9]. На відміну від органічних речовин, які певною мірою піддаються деструктуризації, важкі метали лише перерозподіляються між окремими ланками водних екосистем (вода, донні відклади, біота). Тому дослідження вмісту важких металів у донних відкладах є невід'ємною частиною програм екологічного моніторингу довкілля [10].

Через підрив Каховської ГЕС дно Каховського водосховища та інших водних об'єктів оголилося. Після висихання донні відклади та не нейтралізований мул перетворюються на пил, який разом зі шкідливими речовинами поширитися вітром на значні території. Забруднений пил осяде на навколишні поля, що зумовить підвищення токсичного потенціалу ґрунту та призведе до забруднення рослинницької продукції [11;12].

Метою досліджень було визначення екоотоксикологічного стану територій за вмістом важких металів, що зазнали осушення після підриву дамби Каховського водосховища. Дослідження наявності важких металів у донних відкладах із дна осушеного Каховського водосховища дасть можливість оцінити потенційну загрозу погіршення еколого-токсикологічного стану земель сільськогосподарського призна-

чення, які розташовані поряд з об'єктом дослідження внаслідок вітрової ерозії та пилових бур.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідження важких металів у водоймищах Дніпра відбуваються впродовж тривалого часу та дають змогу встановити основні закономірності їх міграції й розподілу в системі «вода – завись – донні відклади». Однак значна увага науковців, під час вивчення водних об'єктів, приділяється саме донним відкладам, оскільки вони безпосередньо беруть участь у формуванні складу води завдяки процесам адсорбції, десорбції, дифузії різноманітних хімічних речовин, а також важких металів та їх сполук зокрема [13]. Цій темі присвячено роботи вітчизняних науковців, а саме: О. Федоненка [2], В. Зацерковного [6], Ю. Войтюк [9], П. Линник [13], Є. Обухова [14] тощо.

За даними В. Зацерковного [6] та Є. Обухова [14], Каховське водосховище зазнавало значного техногенного навантаження та акумулювало не лише запаси води, але й усі забруднення, що надходили із площі водозбору. Води та донні відклади водосховища були забруднені біогенними, органічними і поверхнево-активними речовинами, нафтопродуктами, фенолами, пестицидами, важкими металами тощо. Серед водосховищ Дніпра найбільшу кількість важких металів (Fe, Cd, Pb, Cr, Zn, Mg, Ni, Cu, Mn та ін.) містили саме донні відклади Каховського водосховища.

Для оцінки стану донних відкладів важливим є вивчення як валового вмісту важких металів, так і їх рухомих сполук [10].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом досліджень слугували п'ять змішаних проб донних відкладень, відібраних на території Кушугумської громади Запорізького р-ну Запорізької обл., а саме: смт Балабине – дві проби (1 та 2) з дна колишньої плавневої зони; смт Кушугум – дві проби (3 та 4) з дна колишнього



Рис. 1. Місця відбору донних відкладень

вапнякового кар'єру, який сполучався з плавневою частиною Дніпра; сmt Малокатеринівка – одну пробу (5) з відкритої території Каховського водосховища (рис. 1).

Лабораторний аналіз донних відкладів здійснювали в акредитованій лабораторії (за стандартом ISO/IEC–17025:2017) Дніпропетровської філії ДУ «Держґрунтоохорона». Слід зауважити, що вміст важких металів у донних відкладах в Україні не нормується [4]. Тому для вивчення еколого-токсикологічного впливу осушених донних відкладів, які можуть поширитися вітром на значні території та призвести до підвищення токсичного потенціалу ґрунту на землях сільськогосподарського призначення, використано методики, які застосовуються під час дослідження ґрунтів. Уміст валових форм важких металів визначали відповідно до ДСТУ ISO 11047:2005 [15], рухомих сполук важких металів – ДСТУ 4770:1-7,9:2007 [16–23].

Для оцінки еколого-токсикологічного стану донних відкладів уміст важких мета-

лів порівнювали з гранично допустимою концентрацією (ГДК) забруднювачів у ґрунті [24].

Розрахунки кореляційних взаємозв'язків проводили методом кореляційного аналізу за такою градацією: коефіцієнт кореляції (r) $<0,3$ – залежність слабка, у межах $0,3–0,7$ – середня, $>0,7$ – сильна (перевищує критичне значення).

Статистичну обробку отриманих результатів здійснювали в пакеті програм Excel та Statistika 6.0.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Важливість визначення валового вмісту важких металів полягає у тому, що ця форма перебування важких металів є найбільш небезпечною, адже рухомі форми можуть виноситись за межі території, враховуючи сприятливу для цього міграційну структуру, тоді як нерухомі чи малорухомі елементи становлять загрозу у разі їх накопичення та збільшення концентрації у ґрунтах.

За результатами проведених досліджень встановлено, що вміст рухомих сполук **свинцю** у точках відбору донних відкладів варіював від 11,93 до 24,65 мг/кг донних відкладів, валовий вміст — від 35,23 до 47,16 мг/кг донних відкладів. Перевищення ГДК (для ґрунту) відмічено в усіх пробах донних відкладів як за вмістом рухомих сполук свинцю (від 2,0 до 4,1 раза), так і за вмістом їх валових форм (від 1,1 до 1,5 раза) (табл. 1, 2; рис. 2, 3).

Найвищий ступінь забруднення донних відкладів за вмістом рухомих сполук та валових форм свинцю виявлено у пробах 3 і 4, відібраних із dna колишнього вапнякового кар'єру, який сполучався з плавневою частиною Дніпра (див. рис. 1).

Уміст рухомих сполук **цинку** в точках відбору донних відкладів варіював від 55,06 до 123,83 мг/кг донних відкладів, валовий вміст — від 71,01 до 262,04 мг/кг донних відкладів. У результаті проведених

Таблиця 1. Уміст рухомих сполук важких металів I класу небезпеки [25] у донних відкладах водойм, які зазнали осушення внаслідок руйнування Каховської ГЕС

Проба ґрунту	Свинець, мг/кг ґрунту		Цинк, мг/кг ґрунту		Кадмій, мг/кг ґрунту	
	уміст	% до ГДК	уміст	% до ГДК	уміст	% до ГДК
1	14,8*	246,7	55,06*	239,4	1,34*	191,4
2	16,51*	275,2	123,83*	538,4	1,41*	201,4
3	24,65*	410,8	76,56*	332,9	1,78*	254,3
4	19,5*	325,0	77,25*	335,9	1,51*	215,7
5	11,93*	198,8	86,05*	374,1	1,35*	192,9
Середнє значення	17,48*	291,3	83,75*	364,1	1,48*	211,1
Стандартна помилка	2,17		11,22		0,08	
Середньоквадратичне відхилення	4,86		25,14		0,18	
Коефіцієнт варіації	0,28		0,30		0,12	
Min	11,93		55,06		1,34	
Max	24,65		123,83		1,78	
НІР _{0,5}	6,03		31,21		0,23	

Примітка: * показник перевищує ГДК (ГДК для рухомих сполук свинцю — 6 мг/кг ґрунту, цинку — 23 мг/кг ґрунту, кадмію — 0,7 мг/кг ґрунту [24]).



Рис. 2. Уміст рухомих сполук свинцю у пробах донних відкладень

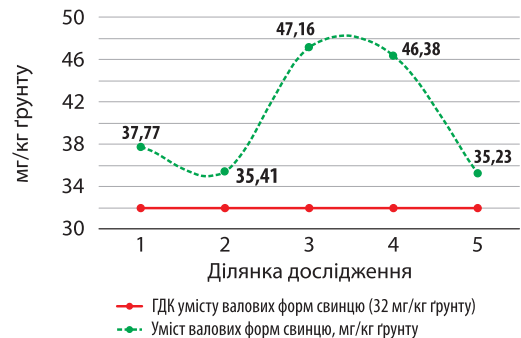


Рис. 3. Уміст валових форм свинцю у пробах донних відкладень

Таблиця 2. Уміст валових форм важких металів І класу небезпеки [25] у донних відкладах водойм, які зазнали осушення внаслідок руйнування Каховської ГЕС

Проба ґрунту	Свинець, мг/кг ґрунту		Цинк, мг/кг ґрунту	Кадмій, мг/кг ґрунту	
	уміст	% до ГДК	уміст	уміст	% до ГДК
1	37,77*	118,0	71,01	1,81	60,3
2	35,41*	110,7	262,04	2,08	69,3
3	47,16*	147,4	220,99	2,65	88,3
4	46,38*	144,9	198,82	2,47	82,3
5	35,23*	110,1	204,16	2,02	67,3
Середнє значення	40,39*	126,2	191,40	2,21	
Стандартна помилка	2,64		32,02	0,15	
Середньоквадратичне відхилення	5,92		71,72	0,34	
Коефіцієнт варіації	0,15		0,37	0,16	
Min	35,23		71,01	1,81	
Max	47,16		262,04	2,65	
НІР _{0,5}	7,34		89,04	0,43	

Примітка: * показник перевищує ГДК (ГДК для валового вмісту свинцю – 32 мг/кг ґрунту, кадмію – 3 мг/кг ґрунту, цинку – не нормується [24]).

досліджень в усіх пробах донних відкладів виявлено перевищення ГДК вмісту рухомих сполук цинку (від 2,4 до 5,4 раза). ГДК вмісту валових форм цинку не регламентується (див. табл. 1, 2; рис. 4, 5).

Найвищий ступінь забруднення донних відкладів за вмістом рухомих сполук цинку встановлено у пробі 2, відібраній із dna колишньої плавневої зони на території смт Балабине.

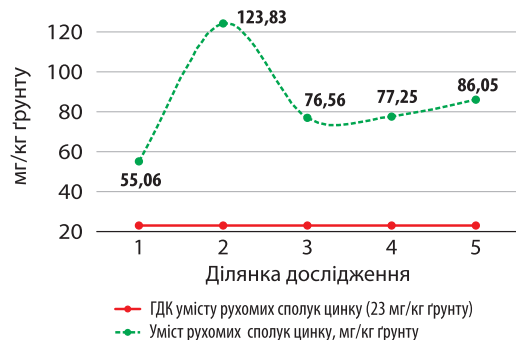


Рис. 4. Уміст рухомих сполук цинку у пробах донних відкладень

Уміст рухомих сполук кадмію у відібраних пробах донних відкладень варіював у межах 1,34–1,78 мг/кг донних відкладів, валових форм – від 1,81 до 2,65 мг/кг донних відкладів. Перевищення ГДК вмісту рухомих сполук кадмію відмічено в усіх досліджуваних пробах донних відкладів (від 1,9 до 2,5 раза). За вмістом валових форм кадмію перевищень ГДК не виявлено (див. табл. 1, 2; рис. 6, 7).

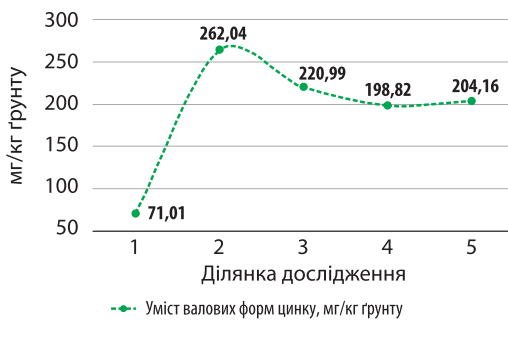


Рис. 5. Уміст валових форм цинку у пробах донних відкладень



Рис. 6. Уміст рухомих сполук кадмію у пробах донних відкладень

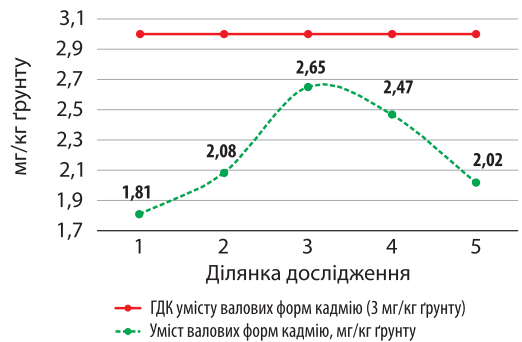


Рис. 7. Уміст валових форм кадмію у пробах донних відкладень

Найвищий ступінь забруднення донних відкладів за вмістом рухомих сполук та валових форм кадмію встановлено у пробі 3, відібраній із дна колишнього вапнякового кар'єру, який сполучався з плавневою частиною Дніпра на території смт Кушугум.

Уміст рухомих сполук та валових форм кадмію у досліджуваних пробах характеризувався слабкою варіабельністю — 0,12 і 0,16% відповідно.

Уміст рухомих сполук *міді* в досліджуваних пробах донних відкладів сягав у межах 1,25–2,09 мг/кг донних відкладів, валовий уміст — від 13,29 до 16,98 мг/кг донних відкладів. Встановлено, що вміст рухомих сполук міді у досліджуваних пробах не перевищував ГДК ґрунту. Уміст валових форм міді не регламентується (табл. 3; рис. 8, 9).

Коефіцієнт варіації за вмістом рухомих сполук та валових форм міді характеризу-

Таблиця 3. Уміст рухомих сполук та валових форм важких металів II класу небезпеки [25] у донних відкладах водойм, які зазнали осушення внаслідок руйнування Каховської ГЕС

Проба донного відкладу	Мідь, мг/кг ґрунту			Нікель, мг/кг ґрунту			Кобальт, мг/кг ґрунту		
	рухомі сполуки	% до ГДК	валова форма	рухомі сполуки	% до ГДК	валова форма	рухомі сполуки	% до ГДК	валова форма
1	2,09	69,67	16,98	6,25*	156	10,18	3,99	79,8	5,17
2	1,73	57,67	15,47	6,39*	160	14,29	3,48	69,6	5,34
3	1,53	51,00	16,28	8,96*	224	21,87	4,15	83,0	5,85
4	1,75	58,33	13,29	8,27*	207	16,98	3,71	74,2	5,90
5	1,25	41,67	15,76	4,15*	104	9,82	0,83	16,6	2,68
Середнє значення	1,67	55,67	15,56	6,80*	170	14,63	3,23	64,6	4,99
Стандартна помилка	0,14		0,62	0,84		2,24	0,61		0,59
Середньоквадратичне відхилення	0,31		1,39	1,89		5,02	1,37		1,33
Коефіцієнт варіації	0,19		0,09	0,28		0,34	0,42		0,27
Min	1,25		13,29	4,15		9,82	0,83		2,68
Max	2,09		16,98	8,96		21,87	4,15		5,90
НІР _{0,5}	0,38		1,73	3,25		6,24	1,70		1,65

Примітка: * показник перевищує ГДК (ГДК для рухомих сполук міді — 3 мг/кг ґрунту, нікелю — 4 мг/кг ґрунту, кобальту — 5 мг/кг ґрунту, ГДК валових форм нікелю, міді та кобальту не нормується [24]).

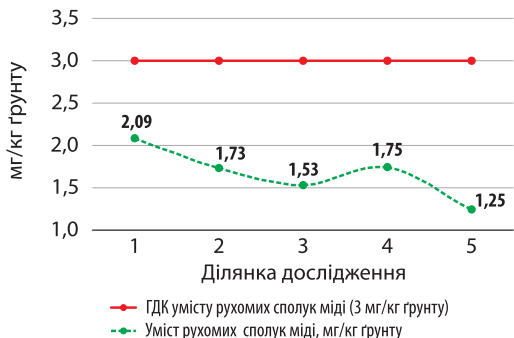


Рис. 8. Уміст рухомих сполук міді у пробах донних відкладень

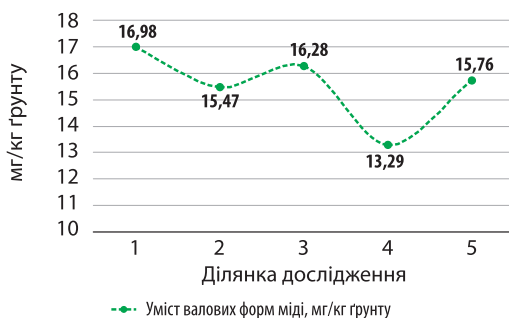


Рис. 9. Уміст валових форм міді у пробах донних відкладень

ється незначною варіабельністю — 0,19 і 0,09% відповідно.

Установлено, що вміст рухомих сполук **нікелю** в досліджуваних пробах варіював від 4,15 до 8,96 мг/кг донних відкладів, валовий вміст — від 9,82 до 21,87 мг/кг донних відкладів. Перевищення ГДК рухомих сполук нікелю встановлено в усіх пробах донних відкладів (від 1,04 до 2,2 раза). ГДК умісту валових форм нікелю не регламентується (див. *табл. 3; рис. 10, 11*).

Найвищий ступінь забруднення донних відкладів за вмістом рухомих сполук та валових форм нікелю виявлено у пробах 3 і 4 відібраних із dna колишнього вапняково-кар'єру, який сполучався з плавневою частиною Дніпра (сmt Кушугум).

Уміст рухомих сполук **кобальту** в досліджуваних пробах донних відкладів варіював у межах 0,83–3,99 мг/кг донних від-

кладів, валовий вміст — від 2,68 до 5,9 мг/кг донних відкладів. Встановлено, що вміст рухомих сполук кобальту у досліджуваних пробах не перевищував ГДК ґрунту. Вміст валових форм кобальту не регламентується (див. *табл. 3; рис. 12, 13*).

Уміст рухомих сполук **заліза** у пробах донних відкладів варіював від 7,28 до 29,99 мг/кг донних відкладів, валових форм — від 3036,4 до 3974,0 мг/кг донних відкладів (*табл. 4; рис. 14, 15*). ГДК умісту рухомих сполук та валових форм заліза не регламентується.

Найвищий вміст рухомих сполук заліза виявлено у пробі 5, відібраній із відкритої території Каховського водосховища (сmt Малокатеринівка).

Уміст рухомих сполук **марганцю** у точках відбору перебував у межах 60,54–75,06 мг/кг донних відкладів, валових



Рис. 10. Уміст рухомих сполук нікелю у пробах донних відкладень

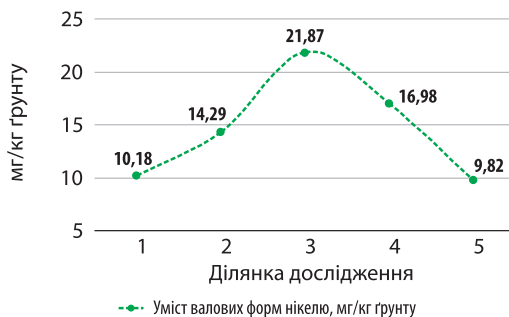


Рис. 11. Уміст валових форм нікелю у пробах донних відкладень

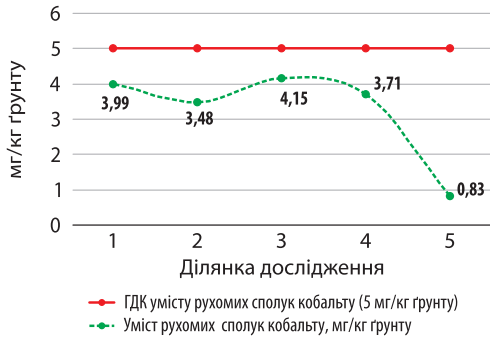


Рис. 12. Уміст рухомих сполук кобальту у пробах донних відкладень

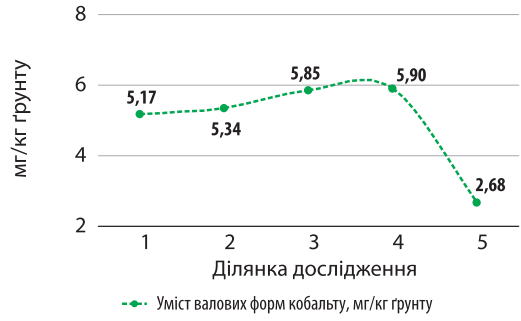


Рис. 13. Уміст валових форм кобальту у пробах донних відкладень

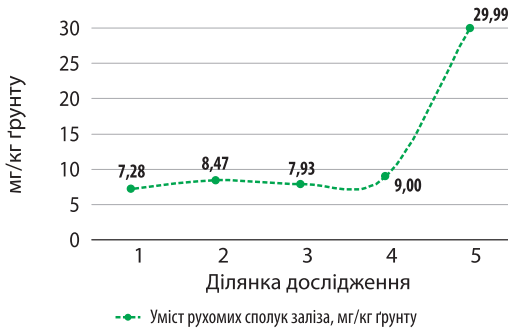


Рис. 14. Уміст рухомих сполук заліза у пробах донних відкладень

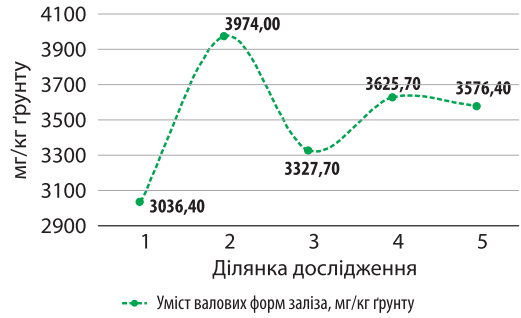


Рис. 15. Уміст валових форм заліза у пробах донних відкладень

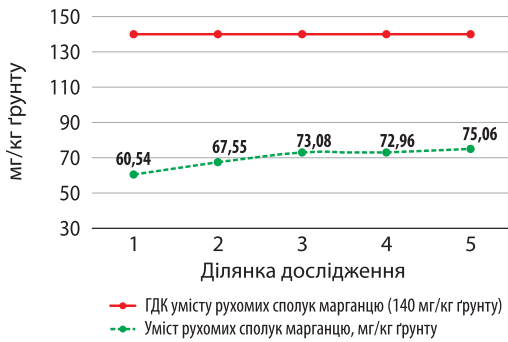


Рис. 16. Уміст рухомих сполук марганцю у пробах донних відкладень

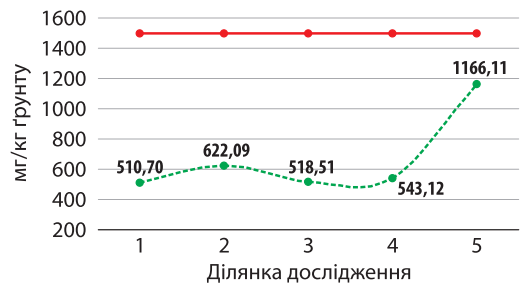


Рис. 17. Уміст валових форм марганцю у пробах донних відкладень

форм — від 510,7 до 1166,11 мг/кг донних відкладів (див. *табл. 4; рис. 16, 17*). Перевищень ГДК за вмістом рухомих сполук та валових форм марганцю у досліджуваних пробах донних відкладів не виявлено.

Найвищий уміст сполук марганцю, як і вміст заліза виявлено у пробі 5, що відібрано із відкритої території Каховського водосховища (сmt Малокатеринівка).

Таблиця 4. Уміст валових форм важких металів III класу небезпеки [25] у донних відкладах водойм, які зазнали осушення внаслідок руйнування Каховської ГЕС

Проба ґрунту	Залізо, мг/кг ґрунту		Марганець, мг/кг ґрунту			
	рухомі сполуки	валова форма	рухомі сполуки	% до ГДК	валова форма	% до ГДК
1	7,28	3036,1	60,54	43,24	510,70	34,05
2	8,47	3974,0	67,55	48,25	622,09	41,47
3	7,93	3327,7	73,08	52,2	518,51	34,57
4	9,00	3625,7	72,96	52,11	543,12	36,21
5	29,99	3576,4	75,06	53,61	1166,11	77,74
Середнє значення	12,53	3508,0	69,84	49,88	672,11	44,81
Стандартна помилка	4,37	156,4	2,63		124,84	
Середньоквадратичне відхилення	9,78	350,3	5,90		279,65	
Коефіцієнт варіації	0,78	0,1	0,08		0,42	
Min	7,28	3036,1	60,54		510,70	
Max	29,99	3974,0	75,06		1166,11	
НІР _{0,5}	12,14	434,9	7,32		347,18	

Примітка: * показник перевищує ГДК (ГДК для рухомих сполук марганцю – 140 мг/кг ґрунту, валового вмісту марганцю – 1500 мг/кг ґрунту, ГДК заліза – не нормується [24]).

За результатами досліджень вмісту рухомих сполук важких металів та їх валових форм у пробах донних відкладів, встановлено кореляційні зв'язки між їх умістом. Найтіснішу позитивну залежність відмічено між вмістом рухомих та валових форм кобальту ($r=0,96$), кадмію ($r=0,92$), нікелю ($r=0,91$), свинцю ($r=0,88$) й цинку ($r=0,84$), що свідчить про досить активний перехід (міграцію/трансформацію) валової

форми важких металів у рухому під дією різноманітних чинників навколишнього середовища (табл. 5). Зв'язок середньої сили виявлено між вмістом рухомих сполук та валових форм марганцю ($r=0,50$), слабкий зв'язок – між умістом різних форм міді ($r=0,13$) й заліза ($r=0,16$). Ці сполуки мають значно меншу рухомість та трансформаційну здатність і не впливають на вміст рухомих сполук елементів.

Таблиця 5. Уміст та співвідношення валової та рухомої форм важких металів у донних відкладах водойм, які зазнали осушення внаслідок руйнування Каховської ГЕС

Показники, мг/кг ґрунту	Валовий уміст	Уміст рухомих сполук	Співвідношення валової форми та рухомої	Кореляційна залежність між умістом валової та рухомої форми (r)
Pb	40,39 ± 5,92	17,48 ± 4,86	2,31	0,88
Zn	191,4 ± 71,72	83,75 ± 25,14	2,29	0,84
Cd	2,21 ± 0,34	1,48 ± 0,18	1,49	0,92
Cu	15,56 ± 1,39	1,67 ± 0,31	9,30	0,13
Mn	672,11 ± 279,65	69,89 ± 5,90	9,60	0,50
Fe	3508,0 ± 350,3	12,53 ± 9,78	280,00	0,16
Ni	14,63 ± 5,02	6,8 ± 1,89	2,15	0,91
Co	4,99 ± 1,33	3,32 ± 1,37	1,50	0,96

Також було встановлено високе співвідношення валового вмісту металів і їх рухомих форм для таких металів, як залізо, марганець та мідь. Широке співвідношення між зазначеними рухомими та валовими формами важких металів свідчить про дефіцит зазначених елементів у розчинній (рухомій) формі; здатність донних відкладів протистояти їх негативному впливу й більшу ймовірність зниження активності процесів міграції та транслокації (переходу валової форми в рухому) (див. *табл. 5*).

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень відмічено перевищення ГДК (для ґрунту) рухомих сполук свинцю (від 2,0 до 4,1 раза), цинку (від 2,4 до 5,4 раза), кадмію (від 1,9 до 2,5 раза) та нікелю (від 1,04 до 2,2 раза) у всіх досліджуваних пробах донних відкладів. За вмістом рухомих сполук міді, кобальту та марганцю перевищення ГДК не виявлено. Перевищення ГДК (ґрунту) за вмістом валових форм свинцю встановлено у п'яти пробах донних відкладів (від 1,1 до 1,5 раза). За вмістом валових форм кадмію та марганцю перевищень ГДК не встановлено.

Усі досліджувані об'єкти характеризуються високим рівнем забруднення та

можуть нести потенційну загрозу погіршення еколого-токсикологічного стану земель сільськогосподарського призначення, які розташовані поряд з об'єктом дослідження внаслідок вітрової ерозії та пилових бур. Найвищий ступінь забруднення донних відкладів за вмістом: рухомих сполук та валових форм **свинцю** й **нікелю** відмічено у пробах, відібраних з dna колишнього вапнякового кар'єру (сmt Кушугум Запорізької обл.); **цинку** — у пробі відібраній із dna колишньої плавневої зони на території сmt Балабине та пробі — з відкритої території Каховського водосховища на території сmt Малокатеринівка; **кадмію** — у пробі відібраній із dna колишнього вапнякового кар'єру на території сmt Балабине та пробі — з відкритої території Каховського водосховища на території сmt Малокатеринівка.

За результатами кореляційного аналізу встановлено надзвичайно сильну залежність щодо вмісту рухомих сполук важких металів та їх валових форм — для кобальту ($r=0,96$), кадмію ($r=0,92$), нікелю ($r=0,91$), свинцю ($r=0,88$) й цинку ($r=0,84$), що свідчить про досить активний перехід (міграцію/трансформацію) валової форми важких металів у рухому під дією різноманітних чинників навколишнього середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Каховське водосховище. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Каховське_водосховище.
2. Федоненко О.В., Єсіпова Н.Б., Шарамок Т.С., Маренков О.М. Гідроекологічний стан Каховського водосховища. URL: https://www.researchgate.net/publication/323015807_Gidroekologichnij_stan_Kahovskogo_vodoshovisa.
3. Симканіч О.І., Кундрік К.М., Глух О.С., Сухарев С.М. Розподіл умісту важких металів у донних відкладах річки Уж у межах міста Ужгород. *Науковий вісник Ужгородського університету. Сер.: Хімія*. 2015. № 1 (33). С. 72–76.
4. Васенко О.Г., Мельников А.Ю. Важкі метали в донних відкладах р. Дунай на території України. *Екологічна безпека*. 2018. № 1 (25). С. 26–31.
5. Дудник С.В., Євтушенко М.Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування: моногр. Київ: Вид-во Українського фітосоціологічного центру, 2013. С. 107–124.
6. Зацерковний В.І., Оберемок Н.В., Тішаєв І.В., Казанюк Т.А. Використання технологій геоеко-
7. Сухарев С.М. Визначення деяких важких металів у донних відкладах річки Боржава методом атомно-абсорбційної спектроскопії. *Науковий вісник Ужгородського університету. Сер.: Хімія*. 2015. № 1 (33). С. 45–49.
8. Виставна Ю.Ю., Решетченко А.І., Дянін Д.В. Важкі метали у донних відкладах міської та регіональної системи басейну р. Сіверський Донець. *Системи життєзабезпечення міст*. 2015. № 120. С. 59–63.
9. Войтюк Ю.Ю. та ін. Вміст та форми знаходження важких металів у донних відкладах в зоні впливу промислових джерел забруднення. *Вісник Дніпропетровського університету. Сер.: Геологія. Географія*. 2014. № 16. С. 208–214.
10. Тимчий К.І., Сідашенко О.І., Бабченко А.В., Сметанін В.Т. Розподіл важких металів у донних відкладах водойм після вермикультивування. *Проблеми екологічної біотехнології*. 2019. № 2. С. 1–9.

- URL: <https://jrn1.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/14481/20891>.
11. Мул з дна Каховської ГЕС є небезпечним. URL: <https://ctrcenter.org/uk/mul-z-dna-кахovskoyi-ges-ye-nebezpechnum>.
 12. Знищення Каховської ГЕС: три глобальні загрози для людей, економіки та природи. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/znyshchennya-kakhovskoyi-hes-naslidyk-zahrozy/32484191.html>.
 13. Ливник П.М., Малиновська Л.О., Зубенко І.Б., Зубко О.В. Важкі метали у водоймах Дніпра: форми міграції та їх трансформація під впливом комплексування й адсорбції. URL: <https://www.kspu.edu/FileDownload.ashx/alm7.gar?id=33b9cc7f-2130-49cc-b389-dbdcbf54ea74>.
 14. Обухов Є. В. Каховському водосховищу — 55 років. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. № 10. С. 119–125.
 15. ДСТУ ISO 11047:2005. Якість ґрунту. Визначення кадмію, хрому, кобальту, купруму, плумбуму, мангану, нікелю та цинку в екстракті, отриманому після оброблення ґрунту «царською водкою». Методи полуменевої та електротермічної атомно-абсорбційної спектроскопії (ISO 11047:1998, IDT). [Чинний від 2008-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2004. 20 с.
 16. ДСТУ 4770.1:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектроскопії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт, 2009. 14 с.
 17. ДСТУ 4770.2:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук цинку в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектроскопії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт, 2009. 14 с.
 18. ДСТУ 4770.3:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кадмію в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектроскопії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт, 2009. 14 с.
 19. ДСТУ 4770.4:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук заліза в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектроскопії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт, 2009. 14 с.
 20. ДСТУ 4770.5:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кобальту в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектроскопії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт, 2009. 14 с.
 21. ДСТУ 4770.6:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук міді в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектроскопії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: «Держспоживстандарт», 2008. 4 с.
 22. ДСТУ 4770.7:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук нікелю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектроскопії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт, 2009. 14 с.
 23. ДСТУ 4770.9:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук свинцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектроскопії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт, 2009. 14 с.
 24. Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин: постановова від 17.12.2021. *Урядовий кур'єр*. 2021. № 243.
 25. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. [Введен в действие 1985-01-01]. Москва: Издательство стандартов, 1984. 3 с.

REFERENCES

1. Kakhovske vodoshkoyshche [Kakhov reservoir]. (n.d.). URL: https://ukhttps://uk.wikipedia.org/wiki/Каховське_водосховище [in Ukrainian].
2. Fedonenko, O.V., Esipova, N.B., Sharamok, T.S. & Marhenko, O.M. Hidroekologichnyi stan Kakhovskoho vodoshkoyshcha [Hydro-ecological condition of the Kakhov reservoir]. (n.d.). URL: https://www.researchgate.net/publication/323015807_Gidroekologichnij_stan_Kahovskogo_vodoshovisa [in Ukrainian].
3. Simkanych, O.I., Kundryk, K.M., Hlukh, O.S. & Sukharev, S.M. (2015). Rozpodil vmistu vazhkykh metaliv u donnykh vidkladakh richky Uzh u mezhakh mista Uzhhorod [Distribution of the content of heavy metals in bottom sediments of the Uzh River within the city of Uzhhorod]. *Naukovi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriya: Khimiia — Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: Chemistry*, 1 (33), 72–76 [in Ukrainian].
4. Vasenko, O.H. & Melnykov, A.Iu. (2018). Vazhki metaly v donnykh vidkladakh r. Dunai na terytorii Ukrainy [Heavy metals in bottom sediments of the Danube River on the territory of Ukraine]. *Ekologichna bezpeka — Ecological safety*, 1 (25), 26–31 [in Ukrainian].
5. Dudnyk, S.V. & Yevtushenko, M.Iu. (2013). *Vodna toksykologhiia: osnovni teoretychni polozhennia ta yikhnie praktychne zastosuvannia: monografiia [Water toxicology: basic theoretical provisions and their practical application: monograph]*. Kyiv [in Ukrainian].
6. Zatserkovnyi, V.I., Oberemok, N.V., Tishaiev, I.V. & Kazanyuk, T.A. (2017). Vykorystannia tekhnolohii heoinformatsiinykh system da dystantsiine zonduvannia zemli dlia monitorynhu vodnykh ob'ektiv [The use of technologies of geoinformation systems and remote sensing of the earth to monitor water bodies].

- Naukoiemni tekhnologii — Scientific technologies, 1* (33), 78–88 [in Ukrainian].
7. Sukharev, S.M. (2015). Vyznachennia deiakykh vazhkykh metaliv u donnykh vidkladakh richky Borzhava metodom atomno-absorbtsiinoi spektroskopii [Determination of some heavy metals in bottom sediments of the Borzhava River by atomic absorption spectroscopy]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriya: Khimiia — Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: Chemistry, (33)*, 45–49 [in Ukrainian].
 8. Vystavna, Yu.Iu., Reshetchenko, A.I. & Dianin, D.V. (2015). Vazhki metaly u donnykh vidkladakh miskoi ta rehionalnoi systemy baseinu r. Siverskyi Donets [Heavy metals in the bottom sediments of the urban and regional basin system of the Siverskyi Donets River]. *Systemy zhyttiezabezpechennia mist — Life support systems of cities, 120*, 59–63 [in Ukrainian].
 9. Voitiuk, Yu.Iu. et al. (2014). Vmist ta formy znakhodzheniia vazhkykh metaliv u donnykh vidkladakh v zoni vplyvu promyslovykh dzherel zabrudnennia [The content and forms of heavy metals in bottom sediments in the zone of influence of industrial sources of pollution]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Seriya: Geologiya. Gografiya — Bulletin of Dnipropetrovsk University. Series: Geology. Geography, 16*, 208–214 [in Ukrainian].
 10. Tymchi, K.I., Sidashenko, O.I., Babchenko, A.V. & Smetanin, V.T. (2019). Rozpodil vazhkykh metaliv u donnykh vidkladakh vodoim pislia vermykultyvuvannia [Distribution of heavy metals in bottom sediments of reservoirs after vermiculture]. *Problemy ekolohichnoi biotekhnologii — Problems of ecological biotechnology, 2*. URL: <https://jrn1.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/14481/20891> [in Ukrainian].
 11. Mul z dna Kakhovskoi HES ye nebezpechnym [Sludge from the bottom of Kakhovskaya HPP is dangerous]. (n.d.). URL: <https://ctrcenter.org/uk/mul-z-dna-kahovskoyi-ges-ye-nebezpechnym> [in Ukrainian].
 12. Znyshchennia Kakhovskoi HES: try hlobalni zahrozy dlia liudei, ekonomiky ta pryrody [Destruction of Kakhovskaya HPP: three global threats to people, economy and nature]. (n.d.). URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/znyshchennia-kakhovskoyi-hes-naslidyk-zahrozy/32484191.html> [in Ukrainian].
 13. Lynnyk, P.M., Malynovska, L.O., Zubenko, I.B. & Zubko, O.V. (n.d.). Vazhki metaly u vodoimakh Dnipra: formy mihratsii ta yikh transformatsiia pid vplyvom kompleksoutvorennia y adsorbtsii [Heavy metals in the reservoirs of the Dnipro: forms of migration and their transformation under the influence of complexation and adsorption]. URL: <https://www.kspu.edu/FileDownload.ashx/alm7.rar?id=33b9cc7f-2130-49cc-b389-dbdcbf54ea74> [in Ukrainian].
 14. Obukhov, E.V. (2012). Kakhovskomu vodoshkovyshchu — 55 rokiv [Kakhovsky Reservoir is 55 years old]. *Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi zhurnal — Ukrainian hydrometeorological journal, 10*, 1196–125 [in Ukrainian].
 15. Yakist gruntu. Vyznachennia kadmiiu, khromu, kobaltu, kuprumu, plumbumu, manhanu, nikolu ta tsynku v ekstrakti, otrymanomu pislia obroblennia gruntu «tsarskoiu vodkoiu». Metody polumenevoi ta elektrotermichnoi atomno-absorbtsiinoi spektrometrii (ISO 11047:1998, IDT) [Soil quality. Determination of cadmium, chromium, cobalt, copper, lead, manganese, nickel and zinc in the extract obtained after treating the soil with aqua regia. Methods of flame and electrothermal atomic absorption spectrometry (ISO 11047:1998, IDT)]. (2004). *DSTU ISO 11047:2005 from 1st January 2008*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
 16. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk marhantsiu v grunti v buferonii amoniino-atsetatnii vytiashztsi z rN 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii [Soil quality. Determination of the content of mobile manganese compounds in the soil in a buffered ammonium acetate extract with pH 4.8 by the method of atomic absorption spectrophotometry]. (2009). *DSTU 4770.1:2007 from 1st January 2009*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart [in Ukrainian].
 17. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk tsynku v grunti v buferonii amoniino-atsetatnii vytiashztsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii [Soil quality. Determination of the content of mobile zinc compounds in the soil in a buffered ammonium-acetate extract with pH 4.8 by the method of atomic absorption spectrophotometer]. (2009). *DSTU 4770.2:2007 from 1st January 2009*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart [in Ukrainian].
 18. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk kadmiiu v grunti v buferonii amoniino-atsetatnii vytiashztsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii [Soil quality. Determination of the content of mobile cadmium compounds in the soil in a buffered ammonium-acetate extract with pH 4.8 by the method of atomic absorption spectrophotometry]. (2009). *DSTU 4770.3:2007 from 1st January 2009*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart [in Ukrainian].
 19. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk kobaltu v grunti v buferonii amoniino-atsetatnii vytiashztsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii [Soil quality. Determination of the content of mobile iron compounds in the soil in a buffered ammonium acetate extract with pH 4.8 by atomic absorption spectrophotometry]. (2009). *DSTU 4770.4:2007 from 1st January 2009*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart [in Ukrainian].
 20. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk kobaltu v grunti v buferonii amoniino-atsetatnii vytiashztsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii [Soil quality. Determination of the content of mobile cobalt compounds in the soil in the buffered ammonium acetate extract with pH 4.8 by the method of atomic absorption spectrophotometry]. (2009). *DSTU 4770.5:2007 from 1st January 2009*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart [in Ukrainian].
 21. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk midi v grunti v buferonii amoniino-atsetatnii vytiashztsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii [Soil quality. Determination of the content of mobile copper compounds in the soil in a buffered ammonium-acetate extract with pH 4.8 by

- the method of atomic absorption spectrophotometry]. (2008). *DSTU 4770.6:2007 from 1st January 2009*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart [in Ukrainian].
22. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spolum nikeliu v grunti v buferonii amoniino-atsetatnii vytiachtsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii [Soil quality. Determination of the content of mobile nickel compounds in the soil in a buffered ammonium-acetate extract with pH 4.8 by the method of atomic absorption spectrophotometry]. (2009). *DSTU 4770.7:2007 from 1st January*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart [in Ukrainian].
23. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spolum svyntsiu v grunti v buferonii amoniino-atsetatnii vytiachtsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii [Soil quality. Determination of the content of mobile lead compounds in the soil in a buffered ammonium-acetate extract with pH 4.8 by the method of atomic absorption spectrophotometry]. (2009). *DSTU 4770.9:2007 from 1st January*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart [in Ukrainian].
24. Pro zatverdzhennia normatyviv hranychno dopustymykh kontsentratsii nebezpechnykh rehovyn u gruntakh, a takozh pereliku takykh rehovyn: postanova vid 17.12.2021 [On approval of the standards of maximum permissible concentrations of dangerous substances in soils, as well as the list of the following substances: resolution of 17.12.2021]. (2021). *Uriadovi kurier — Government courier*, 243 [in Ukrainian].
25. Okhrana prirodi. Pochvi. Klasifikatsiya khimicheskikh veshchestv dlya kontrolya zagryazneniya [Nature protection. Soils Classification of chemical substances for pollution control]. (1984). *GOST 17.4.02-84 from 1st January 1985*. Moskva: Yzdatelstvo standartov [in Russian].

Стаття надійшла до редакції журналу 15.01.2024

DYNAMICS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF LINGONBERRY (*VACCINIUM VITIS-IDAEA* L.) IN THE FORESTS OF ZHYTOMYR POLISSIA (UKRAINE) SINCE THE CHORNOBYL NUCLEAR ACCIDENT

O. Zhukovskiy¹, V. Krasnov², T. Kurbet^{2,1}, O. Orlov^{3,1}, O. Veselskiy²

¹ Поліський філіал Українського науково-дослідного інституту
лісового господарства та агролісомеліорації імені Г.М. Висоцького
(с. Довжик, Житомирська обл., Україна)

e-mail: zh_oleh2183@ukr.net; ORCID: 0000-0003-3351-9856

² Державний університет «Житомирська політехніка» (м. Житомир, Україна)

e-mail: volodkrasnov@gmail.com; ORCID: 0000-0003-1779-9544

e-mail: kpn_ktv@ztu.edu.ua; ORCID: 0000-0001-7820-4263

e-mail: phd101232_yoo@student.ztu.edu.ua; ORCID: 0009-0003-8913-6798

³ ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

(м. Київ, Україна)

e-mail: orlov.botany@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2923-5324

У статті наведені та проаналізовані матеріали вивчення рівнів радіоактивного забруднення ґрунту та питомої активності ¹³⁷Cs у надземній частині фітомаси та ягодах брусниці на постійних пробних площах у різні роки з часу аварії на Чорнобильській атомній станції. В дослідженнях, які виконані у Поліському філіалі Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації впродовж 1998–2021 рр., використовувались загальнонаукові та математико-статистичні методи, а також порівняльний аналіз. З метою обґрунтування досліджень використані звітні дані лісогосподарських підприємств Волинської, Рівненської та Житомирської обл. Показано, що відбувається істотне зменшення щільності радіоактивного забруднення ґрунту, а також питомої активності ¹³⁷Cs у надземній частині фітомаси та ягодах брусниці у лісах регіону дослідження за період спостережень. Виявлено, що нині основна частка сумарної активності радіонуклідів знаходиться у верхньому мінеральному 10 см шарі ґрунту — 74,7%. Встановлено, що у надземній частині фітомаси брусниці зберігається значний вміст радіонуклідів навіть при невеликій щільності радіоактивного забруднення ґрунту. З'ясовано, що у 1998 р. за мінімальної величини щільності забруднення ґрунту ¹³⁷Cs ($49 \pm 5,6 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$) питомою активністю ¹³⁷Cs у надземній фітомасі брусниці становила $8043 \pm 510,9 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$, тоді як у 2021 р. (мінімальній величині щільності забруднення ґрунту ¹³⁷Cs $22 \pm 0,3 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$) — $1046 \pm 182 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$. Виявлені лінійні залежності між щільністю радіоактивним забрудненням ґрунту та вмістом ¹³⁷Cs в ягодах і надземній частині фітомаси брусниці, які можна використовувати у практиці їх заготівлі.

Ключові слова: щільність забруднення ґрунту ¹³⁷Cs, питома активність, радіонуклід, ягідні рослини, радіаційна токсикологія, лісові екосистеми.

INTRODUCTION

As a result of the Chernobyl Nuclear Power Plant accident forests experienced significantly high level of radioactive contamination compared to open landscapes. The largest areas and levels of this contamination were observed in the wood areas of Polissia region

in our country. This can be explained by the processes which occurred in the destroyed reactor and due to the weather conditions as well in the period of the most intensive release of radionuclides in the environment. In the most forested part of Polissia, including Volyn, Rivne, and Zhytomyr regions the area of forests with a soil contamination density of ¹³⁷Cs exceeding $37 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ ($1 \text{ Ci}\cdot\text{km}^{-2}$)

in 1991 was 860 000 hectares. Thus, forests accumulated a remarkable amount of radionuclides and they became a source of radiation hazard for the local population [1].

At the same time the forested areas of the marked regions are rich for berry plants, which have been long used by the local population for personal consumption and for sale. In the beginning of the first months since the Chernobyl Nuclear Power Plant accident, the harvesting of wild berries in Ukrainian forests were prohibited [2]. Over time, after surveying forests for radioactive contamination and obtaining the results of initial studies on the content of radionuclides in wild berry plants, regulated in accordance with the established limitation at that time [3]. Further this regulation was actualized in connection with the receipt of new materials on the radiation situation in forests and the migration of radionuclides to different species of berry plants based on forest-typological approach.

Over the past 20 years, studies on the migration of radioactive elements in forest ecosystems and their entry into various components, including berry plants, have highly decreased and had a fragmentary character. Meanwhile, with the purpose of conducting radiation toxicology dose calculations, define potential areas for wild berry harvesting, forecasting levels of their radioactive contamination and rehabilitating forest plantations, data on the accumulation of ^{137}Cs in different types of forest ecological conditions are necessary. Hereby remarked limitations, these studies remain relevant.

The purpose of the research was determination of the current levels of radioactive contamination of the common forest berry plant – lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.), which are wide-spread in Ukrainian forests of Polissia, in different types of forest ecological conditions and in stands of different tree species composition.

ANALYSIS OF RECENT RESEARCH

Fragmentary studies on the radioactive contamination of wild berry plants, including lingonberry were conducted in Ukraine

and some other European countries in the 1960s–1980s. In the Ukrainian Carpathian Mountains researchers investigated the ^{137}Cs content in the organs of some berry dwarfshrubs, such as lingonberry, bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) and blueberry (*Vaccinium uliginosum* L.) [4]. They found that ^{137}Cs activity concentration in lingonberry organs was higher than in bilberry and blueberry. In all studied species this indicator was the highest in the plant shoots and the lowest – in the berries. Somewhat different results were obtained later by German researchers who ranked the organs of berry plants in terms of their ^{137}Cs content as follows: flowers > leaves > berries > roots > shoots [5]. Similar results were obtained in 2015 by researchers in Volyn Polissia where lingonberry organs, according to ^{137}Cs content, were ranked as follows: berries > leaves > roots > shoots [6].

In post-Chernobyl period a remarkable number of publications in scientific literature emerged, dedicated to study peculiarities of ^{137}Cs accumulation in various plants of forest ecosystems, including berries. This was prompted by the wide use of these plants' berries for consumption and the production of medicinal preparations in many European countries. Researchers in several European countries classified lingonberry as a plant with significant accumulation of ^{137}Cs in berries [7–11]. Lingonberry, unlike bilberry, belongs to plants in which the absorption capacity of ^{137}Cs does not change depending on the levels' industrial pollution of the environment [12], and later observations by other researchers showed opposite results [13]. With increasing of anthropogenic pollution, the ^{137}Cs content in lingonberry decreased. The reduction of ^{137}Cs in lingonberry was also supported by active experiments on the application of various amounts of wood ash [14].

Extensive and multi-faceted radioecological studies of lingonberry were conducted in Finland [15]. Scientists found that lingonberry has significantly higher ^{137}Cs content in various parts and organs compared to other species growing in the same ecological conditions. They observed an increase in the inten-

sity of radionuclide influx in this berry plant over three years since radioactive fallouts on Finnish forest ecosystems. Researchers concluded that lingonberry berries could play a significant role in the accumulation of ^{137}Cs in the human body, and the consumption of wild berries in substantial quantities could have a certain toxic effect on the human body. Somewhat different results were obtained by Swedish scientists who studied the ^{137}Cs content in various plant species over a much longer period – from 1986 to 1994 [16]. They concluded that all plants, including lingonberry, showed the gradual decrease in ^{137}Cs activity concentration in the aboveground parts of the plants.

Comparing the indicators which characterize the intensity of ^{137}Cs influx into berries and the vegetative mass of lingonberry shown by different authors demonstrates significant differences. This can be explained by various factors such as different years of research, variations in the ecological conditions of plant growth, the tree species composition of the forest stands in the study area, methodological differences, etc. However, studies conducted in European forests allowed researchers to generalize that the part of forest food products (edible mushrooms, wild berries) in internal radiation exposure dose on the local population can reach 80% of the total dose obtained from all food products [17; 18].

Broader research on study the radioactive contamination of wild berry plants in general, and lingonberry in particular, was conducted in Ukraine. Researchers studying interspecies peculiarities in the accumulation of ^{137}Cs by berry plants classified lingonberry as an intensive radionuclide accumulator [19]. Studies conducted in various types of forest ecological conditions allowed researchers to conclude that the intensity of ^{137}Cs influx into different parts and organs of lingonberry was the lowest in fairly fertile site type and the highest – in infertile pine site type [20]. Scientists concluded that this is explained by the non-exchangeable fixation of the radionuclide in the soil in more favorable growth conditions. Researchers also identi-

fied the accumulation of ^{137}Cs by lingonberry dwarf-shrubs of different ages [21] and the peculiarities of radionuclide influx during the vegetative period [22]. It was found that the maximum values of the activity concentration of ^{137}Cs in lingonberry phytomass was observed in May–June, in the further periods of the growing season, its gradual decrease is observed. Ukrainian scientists also investigated the changing in the levels' radioactive contamination of lingonberry berries during short observation periods and noted some reduction in the levels' radioactive contamination of lingonberries in the 1990s [17]. Results from more extended studies on the levels of radioactive contamination of lingonberry are currently unavailable.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCH

Lingonberry is widespread in coniferous, mixed and deciduous forests, as well as in open areas (clearings, forest glades) in types of forest conditions, ranging from fresh to wet infertile pine, fairly infertile pine and fairly fertile site type. Depending on the of forest site type, rhizomes of lingonberry are located between the mineral part of the soil and the forest litter, or in the upper part of the peat. The depth of penetration of additional roots into the soil in autotrophic conditions is 3–10 cm, and under hydromorphic ones, can reach up to 25 cm

Research was conducted on permanent experimental plots on the territory of the branch «Luhynske Forest Enterprise» of the State Enterprise «Forests of Ukraine» (Zhytomyr region) in pine plantations with sufficiently close forestry and ecological characteristics in moist fairly infertile pine site type (B₃). Now they presented by pure pine stands aged 65–75 years with a relative completeness of 0.8–0.9, a stand quality class – I. Undergrowth consisted of individual specimens of *Pinus sylvestris* L. and *Betula pendula* Roth. The understory consisted of *Sorbus aucuparia* L. and *Frangula alnus* Mill. The herbaceous-dwarf-shrub layer was dense and consisted on *Vaccinium myrtillus* with a projected coverage of 50–60%, *V. vitis-idaea* –

10–15%, *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn. – 1–5%, *Molinia caerulea* (L.) Moench – 1–3% and *Lycopodium clavatum* L. Moss layer was well-developed and consisted on *Pleurozium schreberi* (Wild. ex Brid.) Mitt. – 45–55% and *Dicranum polysetum* Sw.) – 40–50%. The soil is soddy-middle podzol, sandy-loam. The association on all experimental plots was *Pinetum myrtilloso-hylocomiosum*.

On each experimental plot during the berry ripening period 5 accounting plots with an area of 1 m² (1 × 1 m) were established, from which soil samples (using the coring method) were collected to determine the density of ¹³⁷Cs soil contamination (A_s). Additionally, samples of berries and aboveground biomass of lingonberry were collected to measure the activity concentration of ¹³⁷Cs (A_m). In laboratory conditions samples of soil and aboveground biomass were dried to an air-dry state at temperature of 80°C during 72 hours, then ground and homogenized. Berries were analyzed in fresh state. The activity concentration of ¹³⁷Cs was measured using the LP-4900B «AFORA» spectrum analyzer with GeLi-detector DGDK-100B3 and also spectrum analyzers SEG-001 «AKP-C»-63 and SEG-001 «AKP-C»-150. The measurement error of ¹³⁷Cs activity concentration was less than 15% (confidence level – 0.95). The statistical processing of research results was carried out using standard software packages such as Database DB2, «Statgrafics», «Statistica» and «Microsoft Office Excel».

RESULTS AND DISCUSSION

Forest enterprises in the research region, which were subordinated to the Ministry of Forestry of Ukraine, before Chernobyl disaster, non-wood forest resources were extensively harvested, including wild berry plants, for their own processing as well as for selling to other enterprises (*Table 1*).

Forest enterprises gained significant profits from this activity. The radioactive contamination of the forests in 1986 led to the necessity of prohibiting or tightly regulating a certain part of the forestry activities of the region's enterprises, and the harvesting of wild berries fell under a complete ban.

The initial research on the scientific justification of using lingonberry in forests contaminated with radionuclides was conducted by us in 1998 with the aim of establishing dependencies between the density of radioactive soil contamination of ¹³⁷Cs and the activity concentration of the radionuclide in the berries and aboveground vegetative phytomass of lingonberry (widely used for food, and the latter – in official and folk medicine). It was found that ¹³⁷Cs enters its aboveground phytomass quite intensively, and even at small values of the first indicator – 49 ± 5.6 kBq·m⁻², ¹³⁷Cs activity concentration was high – 8043 ± 511 Bq·kg⁻¹.

The values of radionuclide transfer coefficients were quite noticeable and varied within pretty wide ranges: in the air-dry aboveground phytomass, from 33.4 to 164.1 m²·kg⁻¹·10⁻³, and in the fresh berries – from 9.5 to 26.0 m²·kg⁻¹·10⁻³. The obtained data allowed to categorize lingonberry as species that actively accumulates radionuclides. This may be explained by some biological characteristics of the species and, to some extent, by the ecological conditions of growth (weak non-exchangeable fixation of ¹³⁷Cs in sandy-loam soils of fairly infertile pine site type).

It was established that with the increase in radioactive soil contamination, the activity concentration of the radionuclide increases both in lingonberry berries and in the aboveground phytomass (*Fig. 1*). The content of ¹³⁷Cs in lingonberry berries and the aboveground phytomass depending on the density of radioactive soil contamination on permanent

Table 1. Dynamics of harvesting volumes of wild berries by forestry enterprises in the forests of Volyn' and Zhytomyr Polissia

Region	Harvest volumes by years, tons			
	1973	1978	1983	1987
Volyn'	244	997	1934	1689
Zhytomyr	229	157	602	1059
Rivne	1289	1456	4345	2734
Total	1762	2610	6881	5482

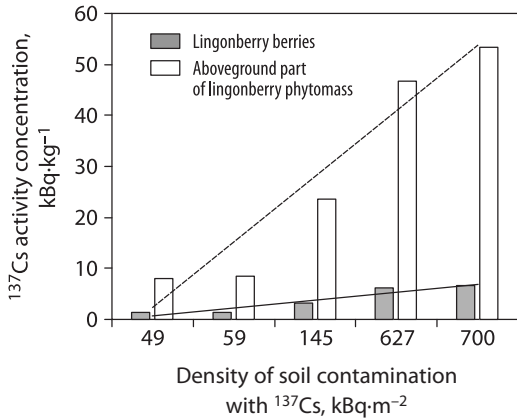


Fig. 1. Dynamics of ¹³⁷Cs activity concentration in fresh lingonberry berries and air-dry aboveground phytomass depending on the density of radioactive soil contamination on permanent experimental plots in 1998

experimental plots in 1998 was described by the following equations: for the air-dry aboveground phytomass of lingonberries: $A_m = 12.902 \cdot A_s - 10.658$ ($R^2 = 0.93$); for fresh berries: $A_m = 1.555 \cdot A_s - 0.907$ ($R^2 = 0.92$).

Over time, there was a redistribution of ¹³⁷Cs in forest ecosystems among their components: migration to greater depths in the soil with some fixation; influx into perennial plants, primarily tree species and concentration in them; a constant flow within a small biological cycle, ensuring the inflow and outflow of radionuclides to various components (including lingonberry). Additionally, there was a physical decay of the radioactive element both in the soil and in the biomass.

The materials obtained from the experimental plots in 2021 indicate that ¹³⁷Cs gradually migrates to the lower soil layers (Table 2). It was found that the major part of the total radionuclide activity is found in the mineral part of the soil – 86.3%, with 74.7% in the upper (10 cm) layers. It should be noted that the root system of lingonberry is located in this soil layer. It was shown that a part of the total activity of ¹³⁷Cs in the forest litter is quite substantial – 13.7%, which in turn, creates conditions for the accumulation of a certain amount of radionuclide in the upper,

Table 2. The distribution of total activity of ¹³⁷Cs in the soil layers of moist fairly infertile pine site type (B₃) in 2021

The soil layers	Total activity of ¹³⁷ Cs	
	Bk · 500 cm ⁻²	%
Forest litter		
O ₁ (undecomposed)	15	0.15
O _f (semi-decomposed)	554	5.53
O _h (decomposed)	801	8.00
Mineral soil layers		
0–2 cm	3281	32.76
2–4 cm	2182	21.79
4–6 cm	984	9.83
6–8 cm	656	6.55
8–10 cm	378	3.77
10–12 cm	286	2.85
12–14 cm	215	2.14
14–16 cm	137	1.37
16–18 cm	95	0.95
18–20 cm	90	0.90
20–22 cm	80	0.80
22–24 cm	61	0.61
24–26 cm	46	0.46
26–28 cm	35	0.35
28–30 cm	39	0.39
30–32 cm	20	0.20
32–34 cm	19	0.19
34–36 cm	20	0.20
36–38 cm	12	0.12
38–40 cm	9	0.09
Total	10016	100.0

root-populated layer of the mineral part of the soil in order for the intensive influx to lingonberry.

The significant migration capacity of ¹³⁷Cs in the soddy-podzolic sandy-loam soils of the Polissia forests, and the possibility of its intensive entry into lingonberry are confirmed by the results of the study of radioactive contamination of lingonberry on experimental plots in 2021 (Fig. 2).

For instance, the activity concentration of the radionuclide in the aboveground phytomass on the experimental plot with the minimum density of radioactive soil contamination

tion — 22.2 ± 0.25 kBq·m⁻² reach in air-dry phytomass of 1046 ± 182 Bq·kg⁻¹, and in the fresh berries — 301 ± 27 Bq·kg⁻¹. The ¹³⁷Cs content in lingonberry berries indicates that at the low density of radioactive soil contamination it can be used as food, as it does not exceed the values of the «Permissible levels of radionuclide content of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in food and drinking water» — 500 Bq·kg⁻¹ [23].

At the same time, the value of this indicator in the aboveground part of the designated sample area significantly exceeds the «Hygienic norm of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr activity concentration in medicinal plant raw materials (substances) used for the production of medicinal products» — 500 Bq·kg⁻¹ [24]. This allows us to conclude that at the present time, even with low values of the density of radioactive contamination of the soil there is an intensive accumulation of ¹³⁷Cs in the lingonberry phytomass in the moist fairly infertile pine site type (B₃).

The content of ¹³⁷Cs in the lingonberry depending on the density of radioactive soil contamination on permanent experimental plots in 2021 was described by the following equations: for the air-dry aboveground part of lingonberry phytomass: $A_m = 2.205 \cdot A_s - 2.515$ ($R^2 = 0.80$), and for fresh lingonberry berries: $A_m = 0.588 \cdot A_s - 0.628$ ($R^2 = 0.85$).

CONCLUSIONS

During the studied period (1998–2021), a decrease in the density of radioactive soil contamination (2.4–3.1 times) is observed in the forest plantations of Polissia region of Ukraine. This can be explained by the decay

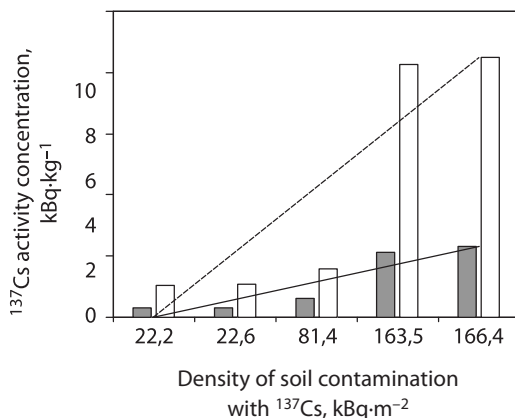


Fig. 2. Dynamics of ¹³⁷Cs activity concentration in lingonberry fresh berries and air-dry aboveground phytomass depending on the density of ¹³⁷Cs soil contamination on permanent experimental plots in 2021

of radionuclide and its migration into the components of forest ecosystems. The major part of ¹³⁷Cs total activity is found in the upper (10 cm) layer of the soil's mineral part — 74.7%, where the root systems of herbaceous and dwarf-shrub plants are concentrated in forest ecosystems.

It was found that lingonberry belongs to the group of plants characterized by a high content of ¹³⁷Cs in the aboveground vegetative phytomass. Harvesting it for the production of medicinal products should be restricted in all areas contaminated with radionuclides. Lingonberry fresh berries can be harvested in areas with a radioactive soil contamination density up to 74 kBq·m⁻².

ЛІТЕРАТУРА

- Калетник М.М., Ландін В.П., Краснов В.П. Проблеми організації ведення лісового господарства в умовах радіаційного забруднення. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*. 1990. № 2. С. 4–7.
- Калетник Н.Н., Краснов В.П., Ландін В.П., Матухню Ю.Д. Временные рекомендации по ведению заготовок пищевых продуктов леса и лекарственного сырья на территории лесхозов УССР, подвергшихся радиоактивному загрязнению. *Сборник нормативных документов по ведению лесохозяйственного производства на 9 территориях, подвергшихся радиоактивно-*
- му загрязнению*. Киев: Минлесхоз УССР, 1986. С. 49–52.
- Краснов В.П., Орлов А.А., Иркиенко С.П. и др. Рекомендации по ведению лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения. Киев: Аграрна наука, 1995. 64 с.
- Демків О.Т. Деякі закономірності розподілу радіоактивних ізотопів в органах високогірних рослин Карпат. *Український ботанічний журнал*. 1967. № 6. С. 50–54.
- Bunzl K. and Kracke W. Accumulation of fallout Cs-137 in some plants and berries of the family *Ericaceae*. *Health Physics*. 1986. Vol. 50. P. 540–542.

6. Грабовський В.А., Дзендзелюк О.С., Трофімук А.В. Динаміка забруднення деяких компонент екосистем Шацького національного природного парку. *Науковий вісник Ужгородського університету. Сер.: Фізика*. 2015. № 37. С. 146–153.
7. Strandberg M. Radiocesium in a Danish pine forest ecosystem. *Science of The Total Environment. Special issue: Forests and radioactivity*. 1994. Vol. 157. P. 125–132. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90571-1](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90571-1).
8. Fawaris B.H. and Johanson K.J. Radiocesium in soil and plants in a forest in central Sweden. *Science of The Total Environment. Special issue: Forests and radioactivity*. 1994. Vol. 157. P. 133–138. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90572-X](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90572-X).
9. Klemt E., Drissner J., Flügel V. et al. Bioavailability of cesium radionuclides in prealpine forests and lakes. In: *Ten years terrestrial radioecological research following the Chernobyl accident*: proceedings of the International Symposium on Radioecology 1996 (22–24-th April, 1996, Vienna). Vienna, 1996. P. 267–274.
10. Heinrich G. and Remele K. ^{137}Cs , ^{90}Sr , K^+ and Ca^{++} in lichens, mosses and vascular plants of a mountain area Styria, Austria. In: *Ten years terrestrial radioecological research following the Chernobyl accident*: proceedings of the International Symposium on Radioecology 1996 (22–24-th April, 1996, Vienna). Vienna, 1996. P. 243–250.
11. Fawaris B.H. and Johanson K.J. A comparative study on radiocesium (^{137}Cs) uptake from coniferous forest soil. *Journal of Environmental Radioactivity*. 1995. Vol. 28(3). P. 313–326. DOI: [https://doi.org/10.1016/0265-931X\(95\)97302-S](https://doi.org/10.1016/0265-931X(95)97302-S).
12. Bunzl K., Albers B.P., Shimmack W. et al. Soil to plant uptake of fallout ^{137}Cs by plants from boreal areas polluted by industrial emissions from smelters. *Science of The Total Environment*. 1999. Vol. 234 (1–3). P. 213–221. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00265-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00265-X).
13. Outola I., Pehrman R. and Jaakkola T. Effect of industrial pollution on the distribution of ^{137}Cs in soil and the soil-to-plant transfer in a pine forest in SW Finland. *Science of The Total Environment*. 2003. Vol. 303 (3). P. 221–230. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00402-3](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00402-3).
14. Levula T., Saarsalmi A. and Rantavaara A. Effects of ash fertilization and prescribed burning on macronutrient, heavy metal, sulphur and ^{137}Cs concentrations in lingonberries (*Vaccinium vitis-idaea*). *Forest Ecology and Management*. 2000. Vol. 126 (2). P. 269–279. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00110-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00110-3).
15. Rantavaara A.H. Transfer of radiocesium through natural ecosystems to foodstuffs of terrestrial origin in Finland. In: *Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environment* / G. Desmet, P. Nas-simbeni, M. Belli (Eds.). London: Elsevier Applied Science, 1990. P. 202–209.
16. El-Fawaris B.H. and Johanson K.J. Monitoring of Chernobyl fallout ^{137}Cs in semi-natural coniferous forest of central Sweden. In: *Ten years terrestrial radioecological research following the Chernobyl accident*: proceedings of the International Symposium on Radioecology 1996 (22–24-th April, 1996, Vienna). Vienna, 1996. P. 275–283.
17. Strand P., Howard B. and Averin V. Intake of radionuclides to man. In: *Transfer of radionuclides to animals, their comparative importance under different agricultural ecosystems and appropriate countermeasures*: Final Report of ECP-9. Luxembourg, 1996. P. 157–193.
18. Jacob P. and Likhtarev I. Transfer factors for mushrooms. In: *Pathway analysis and dose distributions: Final Report of JSP-5 for the contracts COSU-CT93-0053 and COSU-CT94-0091 of the European Commission*. Luxembourg, 1996. P. 63–74.
19. Краснов В.П. Радиоекологія лісів Полісся України. Житомир: Волинь, 1998. 112 с.
20. Орлов А.А., Краснов В.П. Интенсивность накопления Cs-137 видами живого почвенного покрова дубовых и сосново-дубовых лесов в сугрядках Украинского Полесья: классификация, ординация, закономерности. *Проблеми екології лісів і лісокористування на Поліссі України*. 1996. Вип. 4. С. 25–30.
21. Короткова О.З., Орлов О.О. Перерозподіл ^{137}Cs по органах ягідних рослин родини *Vacciniaceae* S.F. Грау в залежності від віку. *Проблеми екології лісів і лісокористування на Поліссі України*. 1999. Вип. 6. С. 62–64.
22. Короткова О.З., Орлов О.О. Накопичення ^{137}Cs фітомасою ягідних рослин при різній щільності радіоактивного забруднення ґрунту. *Лісівництво і агролісомеліорація. Здоров'я лісу*. 1999. Вип. 95. С. 16–23.
23. Допустимих рівнів вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді: Наказ МОЗ України від 03.05.2006 р. *Офіційний вісник України*. 2006. № 29. 142 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0845-06#Text>.
24. Тігієничий норматив питомої активності ^{137}Cs та ^{90}Sr у рослинній лікарській сировині (субстанції), що використовується для виготовлення лікарських засобів: Наказ МОЗ України від 08.05.2008 р. *Офіційний вісник України*. 2008. № 51. 112 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0590-08#Text>.

REFERENCES

1. Kaletnyk, M.M., Landin, V.P. & Krasnov, V.P. (1990). Problemy orhanizatsiyi vedennya lisovoho hospodarstva v umovakh radiatsiynoho zabrudnennya [Problems of organization of forest management in conditions of radiation pollution]. *Lisove hospodarstvo, lisova, paperova i derevoobrobna promyslovist — Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 2, 4–7 [in Ukrainian].
2. Kaletnik, N.N., Krasnov, V.P., Landin, V.P. & Matukhno, Yu.D. (1986). Temporary Recommendations for Conducting Harvesting of Food Forest Products and Medicinal Raw Materials in the Ter-

- ritories of Forest Enterprises of the Ukrainian SSR Affected by Radioactive Contamination [Vremennyye rekomendatsii po vedeniyu zagotovok pishchevykh produktov lesa i lekarstvennogo syrya na territorii leskhozozagov USSR, podvergshikhysya radioaktivnomu zagryazneniyu]. *Sbornik normativnykh dokumentov po vedeniyu leskhozoyaystvennogo proizvodstva na 9 territoriyakh, podvergshikhysya radioaktivnomu zagryazneniyu* [Collection of Regulatory Documents on Forest Management in 9 Territories Affected by Radioactive Contamination]. (pp. 49–52). Kyiv: Minleskhov USSR [in Russian].
3. Krasnov, V.P., Orlov, A.A., Irklyienko, S.P. et al. (1995). *Rekomendatsii po vedeniyu lesnogo khozyaystva v usloviyakh radioaktivnogo zagryazneniya* [Recommendations for Forest Management in Conditions of Radioactive Contamination]. Kyiv: Agrarna nauka [in Russian].
 4. Demkiv, O.T. (1967). Some Regularities of the Distribution of Radioactive Isotopes in the Organs of High-Mountain Plants in the Carpathians [Deyaki zakonimirostnosti rozpodilu radioaktivnykh izotopiv v orhanakh vysokohirnykh roslyn Karpat]. *Ukrayins'kyi botanichnyy zhurnal — Ukrainian Botanical Journal*, 6, 50–54 [in Ukrainian].
 5. Bunzl, K. & Kracke, W. (1986). Accumulation of fallout Cs-137 in some plants and berries of the family Ericaceae. *Health Physics*, 50, 540–542 [in English].
 6. Hrabovskiy, V.A., Dzendzelyuk, O.S. & Trofimuk, A.V. (2015). Dynamika zabrudnennya deyakykh komponent ekosystem Shatskoho natsionalnogo pryrodnoho parku [Dynamics of ¹³⁷Cs contamination in some components of ecosystems of Shatsk national nature park]. *Naukovyy visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriya: Fizyka — Uzhhorod University Scientific Herald. Series: Physics*, 37, 146–153 [in Ukrainian].
 7. Strandberg, M. (1994). Radiocesium in a Danish pine forest ecosystem. *Science of The Total Environment. Special issue: Forests and radioactivity*, 157, 125–132. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90571-1](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90571-1) [in English].
 8. Fawaris, B.H. & Johanson, K.J. (1994). Radiocesium in soil and plants in a forest in central Sweden. *Science of The Total Environment. Special issue: Forests and radioactivity*, 157, 133–138. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90572-X](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90572-X) [in English].
 9. Klemt, E., Drissner, J., Flügel, V. et al. (1996). Bioavailability of cesium radionuclides in prealpine forests and lakes. *Ten years terrestrial radioecological research following the Chernobyl accident: proceedings of the International Symposium on Radioecology 1996*. (pp. 267–274). Vienna [in English].
 10. Heinrich, G. & Remele, K. (1996). ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, K⁺ and Ca⁺⁺ in lichens, mosses and vascular plants of a mountain area Styria, Austria. *Ten years terrestrial radioecological research following the Chernobyl accident: proceedings of the International Symposium on Radioecology 1996*. (pp. 243–250). Vienna [in English].
 11. Fawaris, B.H. & Johanson, K.J. (1995). A comparative study on radiocaesium (¹³⁷Cs) uptake from coniferous forest soil. *Journal of Environmental Radioactivity*, 28 (3), 313–326. DOI: [https://doi.org/10.1016/0265-931X\(95\)97302-S](https://doi.org/10.1016/0265-931X(95)97302-S) [in English].
 12. Bunzl, K., Albers, B.P., Shimmack, W. et al. (1999). Soil to plant uptake of fallout ¹³⁷Cs by plants from boreal areas polluted by industrial emissions from smelters. *Science of The Total Environment*, 234 (1–3), 213–221. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00265-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00265-X) [in English].
 13. Outola, I., Pehrman, R. & Jaakkola, T. (2003). Effect of industrial pollution on the distribution of ¹³⁷Cs in soil and the soil-to-plant transfer in a pine forest in SW Finland. *Science of The Total Environment*, 303 (3), 221–230. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00402-3](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00402-3) [in English].
 14. Levula, T., Saarsalmi, A. & Rantavaara, A. (2000). Effects of ash fertilization and prescribed burning on macronutrient, heavy metal, sulphur and ¹³⁷Cs concentrations in lingonberries (*Vaccinium vitis-idaea*). *Forest Ecology and Management*, 126 (2), 269–279. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00110-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00110-3) [in English].
 15. Rantavaara, A.H., Desmet, G., Nassimbeni, P. & Belli, M. (Eds.). (1990). Transfer of radiocesium through natural ecosystems to foodstuffs of terrestrial origin in Finland. *Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environment*. (pp. 103–108). London: Elsevier Applied Science [in English].
 16. El-Fawaris, B.H. & Johanson, K.J. (1996). Monitoring of Chernobyl fallout ¹³⁷Cs in semi-natural coniferous forest of central Sweden. *Ten years terrestrial radioecological research following the Chernobyl accident: proceedings of the International Symposium on Radioecology 1996*. (pp. 275–283). Vienna [in English].
 17. Strand, P., Howard, B. & Averin, V. (1996). Intake of radionuclides to man. *Transfer of radionuclides to animals, their comparative importance under different agricultural ecosystems and appropriate countermeasures: Final Report of ECP-9*. (pp. 157–193). Luxembourg [in English].
 18. Jacob, P. & Likhtarev, I. (1996). Transfer factors for mushrooms. *Pathway analysis and dose distributions: Final Report of JSP-5 for the contracts COSU-CT93-0053 and COSU-CT94-0091 of the European Commission*. (pp. 63–74). Luxembourg [in English].
 19. Krasnov, V.P. (1998). *Radioekolohiya lisiv Polissya Ukrainy* [Radioecology of forests of Polissya Ukraine]. Zhytomyr: Volyn [in Ukrainian].
 20. Orlov, O.O. & Krasnov, V.P. (1996). Intensity of accumulation of Cs-137 by species of living ground cover of oak and pine-oak forests in the swamps of Ukrainian Polesie: classification, ordination, patterns [Intensivnost nakopleniya Cs-137 vidnykh zhivogo nepochvennogo pokrova dubovykh i sosnovo-dubovykh lesov v sugrudkakh Ukrainskogo Polesya: klassifikatsiya, ordinatsiya, zakonomernosti]. *Problemy ekolohiyi lisiv i lisokorstuvannya na Polissi Ukrainy — Problems of ecology of forests and forest use on Polissya Ukraine*, 4, 25–30 [in Russian].
 21. Korotkova, O.Z. & Orlov, O.O. (1999). Pererozpodil ¹³⁷Cs po orhanakh yahidnykh roslyn rodyny *Vacciniaceae* S.F. Gray v zalezhnosti vid viku [Redistribution of ¹³⁷Cs on organs of berry plants of the family

- Vacciniaceae S. F. Gray in dependence of their age]. *Problemy ekolohiyi lisiv i lisokorystuvannya na Polissi Ukrayini — Problems of ecology of forests and forest use on Polissya Ukraine*, 6, 62–64 [in Ukrainian].
22. Korotkova, O.Z. & Orlov, O.O. (1999). Nakopychennya ^{137}Cs fitomasoyu yahidnykh roslyn pry rizniy shchilnosti radioaktyvnoho zabrudnennya gruntu [^{137}Cs accumulation by the berries plants at different density of radioactive contamination of soil]. *Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiya. Zdorovya lisu — Forestry & Forest Melioration. Forest health*, 95, 16–23 [in Ukrainian].
23. Dopustymykh rivniv vmistu radionuklidiv ^{137}Cs ta ^{90}Sr u produktakh kharchuvannya ta pytniy vodi: Nakaz vid 03.05.2006 r. [Permissible levels of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in food and drinking water: Order of 3.05.2006]. (2006). *Ofitsiyyny visnyk Ukrayiny — Official Gazette of Ukraine*, 9, 142. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0845-06#Text> [in Ukrainian].
24. Hihiyenichnyy normatyv pytomoyi aktyvnosti ^{137}Cs ta ^{90}Sr u roslynniy likars'kyi syrovyni (substantsiyi), shcho vykorystovuyet'sya dlya vyhotovlennya likars'kykh zasobiv: Nakaz vid 08.05.2008 r. [Hygienic standard of specific activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr in herbal medicinal raw materials (substances) used for the manufacture of medicinal products: Order of 08.05.2008]. (2008). *Ofitsiyyny visnyk Ukrayiny — Official Gazette of Ukraine*, 51, 112. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0590-08#Text> [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 15.02.2024

ЗАПАСИ ВІДМЕРЛОЇ СУХОСТІЙНОЇ ДЕРЕВИНИ У ЛІСОВИХ НАСАДЖЕННЯХ СЕРЕДНЬОГО ПРИДНІПРОВ'Я (ЛІСОСТЕП УКРАЇНИ)

О.Ю. Чорнобров

*Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: oleksandr.chornobrov@ukr.net; ORCID: 0000-0001-8251-1573*

*Сухостійна відмерла деревина є важливим структурним компонентом лісових екосистем помірної зони. Метою статті є вивчити лісівничо-екологічні особливості розподілу запасів сухостійної деревини у лісових насадженнях Середнього Правобережного Придніпров'я (Лісостеп України). Дослідження проведено на прикладі території лісового фонду північної частини Черкаської обл. за даними матеріалів лісовпорядкування. З'ясовано, що площа насаджень, у яких під час лісовпорядкування виявлено сухостій, становила 14,0% від загальної вкритої лісом площі. Середній запас сухоостою був найвищим у лісах природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення — $13,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, децю меншим — в експлуатаційних лісах — $11,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, у захисних та рекреаційно-оздоровчих лісах — $9,8 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Сухостій було виявлено у лісостанах 15 деревних видів, середній запас становив від $5,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ до $20,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, загалом для усіх деревних видів — $10,1 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. У насадженнях переважаючих деревних видів — сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) та акації білої (*Robinia pseudoacacia* L.) середній запас сухостійної деревини становив $10,4 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ і $9,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, відповідно. У насадженнях зазначених деревних видів виявлено тенденцію збільшення середнього запасу сухостійної деревини зі збільшенням віку насаджень. Сухостій виявлено у 17 з 32 типів лісу, які є у лісовому фонді досліджуваного об'єкта, з середнім запасом від $5,7 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ (свіжа еродована грабова судіброва) до $22,2 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ (сирий чорновільховий груд). Загалом, запаси сухостійної відмерлої деревини у лісових насадженнях є низькими, що може бути зумовлено проведенням лісогосподарських заходів (рубок). Отримані нами дані є важливими у дослідженнях особливостей формування запасів деревного детриту у лісах Середнього Придніпров'я у контексті природоохоронних та захисних функцій мертвої деревини.*

Ключові слова: *деревний детрит, едатоп, тип лісу, захисні насадження, лісова екосистема.*

ВСТУП

Відмерлі стоячі дерева, або сухостій, є важливим структурним компонентом лісових екосистем. Вони утворюються внаслідок відмирання живих дерев за впливу абіотичних та (або) біотичних чинників [1; 2]. Як складова відмерлої деревини, сухостій виконує низку екологічних функцій, що пов'язані з кругообігом речовин та енергії, депонуванням вуглецю й регулюванням важливих екосистемних процесів [1–3]. Відмерлі стоячі дерева є важливими для збереження біорізноманіття живих організмів, що є залежними від мертвої деревини [1; 4–6]. Сухостій формує унікальні середовища існування для грибів, лишайників, мохоподібних, безхребетних,

дрібних хребетних, птахів та ссавців [7–10]. Нині вважається, що близько 25% біорізноманіття лісових екосистем помірної зони є залежними від сухостійних дерев та інших типів відмерлої деревини [11]. Для окремих видів, зокрема й рідкісних, сухостійні дерева є критично важливим і ключовим елементом життєдіяльності [8]. Як правило, відмерлі стоячі дерева різних діаметрів і класів деструкції є важливим атрибутом старовікових лісів та пралісів. Саме різноманітність породного складу відмерлої деревини, розмірів і стадій розкладу її компонентів забезпечують необхідні середовища існування для збереження біорізноманіття лісів [5; 8].

Враховуючи важливі природоохоронні та екологічні функції сухостійної мертвої

деревини, вона постає основним об'єктом наукових досліджень на території Середнього Правобережного Придніпров'я (Лісостеп України), зокрема і у лісових екосистемах Канівського Придніпров'я. Особливістю зазначеної території є наявність добре збережених природних лісових екосистем із багатим біорізноманіттям та штучно створених, переважно захисних лісових насаджень, які в межах ландшафту розташовані посеред сільськогосподарських угідь.

Територія Канівського Придніпров'я входить до складу Дніпровського екологічного коридору, в межах якого розташовані території природно-заповідного фонду та об'єкти Смарагдової мережі. Вони характеризуються особливими біотопно-екотопними характеристиками та в складі яких зберігається значна кількість популяцій зникаючих і рідкісних видів рослин [12]. До таких територій, передусім, належать Канівський природний заповідник та об'єкти Смарагдової мережі – Михайлівський (Mykhailivskiy, UA0000256) і Долина р. Рось (Ros river valley, UA0000272). Нині актуальним є дослідження відпаду дерев у зазначених об'єктах та формування деревного детриту як важливого структурного елемента лісових екосистем.

Мета роботи – проаналізувати лісівничо-екологічні особливості розподілу запасів сухостійної деревини в лісових насадженнях Середнього Правобережного Придніпров'я.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Науковцями проведено низку досліджень лісових екосистем у межах Середнього Правобережного Придніпров'я на територіях Канівського природного заповідника. Кількісні та якісні показники відмерлої деревини у насадженнях природного походження з домінуванням *Carpinus betulus* L. в умовах свіжої діброви зазначеної території природно-заповідного фонду досліджено у роботі О.Ю. Черноброва [13]. Вивчення особливостей формування запасів деревного детриту проводилося на

півночі Лісостепу – у Національному природному парку «Голосіївський», зокрема і у заповідній зоні (власні дослідження). У науковій праці І.В. Соломахи та ін. [14] висвітлено еколого-типологічну оцінку лісової рослинності Середнього Придніпров'я. Автори І.В. Соломаха та В.Л. Шевчик охарактеризували фітосозологічне значення об'єктів Смарагдової мережі Дніпровського екологічного коридору в межах Лісостепу України, зокрема і на території Канівського Придніпров'я [12]. П.І. Лакидою та ін. проаналізовано лісівничо-таксаційні показники деревостанів Правобережного Придніпровського Лісостепу [15].

У межах досліджуваної території є значна частка захисних лісів. Вчені займалися вивченням їхніх лісівничо-екологічних особливостей та меліоративних, зокрема протиерозійних, властивостей. Однак, особливості формування мертвої деревини та її природоохоронне значення у різних за породним складом захисних лісових насадженнях Канівського Придніпров'я наразі недостатньо вивчені. У попередніх наших дослідженнях ми вивчали лісівничо-екологічні особливості розподілу запасів поваленої мертвої деревини у лісових екосистемах Канівського Придніпров'я [16]. Отримані дані можуть бути використані для досліджень взаємозв'язку цих особливостей із природоохоронними функціями відмерлої деревини. Нині ж є потреба проаналізувати запаси іншого компонента деревного детриту – відмерлої сухостійної деревини. Наявність об'єктів Смарагдової мережі у межах Середнього Придніпров'я потребує детального вивчення відмерлої деревини у комплексі з дослідженнями екологічних особливостей лісових екосистем та стану рослинного покриву.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Досліджувана територія розташована на півночі правобережної частини Черкаської обл. За фізико-географічним районуванням вона належить до Букринсько-Канівського району Київської височинної

області Подільсько-Придніпровського лісостепоного краю лісостепоної недостатньо зволоженої зони Східноєвропейської рівнинної ландшафтної країни [17]. За геоботанічним районуванням вона знаходиться в межах Північного Правобережно-Придніпровського округу грабово-дубових, дубових лісів, остепнених лук та лучних степів Української лісостепоної підпровінції Східноєвропейської лісостепоної провінції дубових лісів, остепнених лук і лучних степів Лісостепоної підобласті (зони) Євразійської степової області [18]. За лісотипологічним районуванням вона відноситься до Правобережного сектору Дніпровського району свіжих грабових дібров області свіжого помірно теплого клімату [19].

У геоморфологічному відношенні територія є полого-гористою рівниною з чітко вираженими долинно-балковими зниженнями, характеризується типовими для цієї частини вказаного фізико-географічного району елементами розлогого балкового рельєфу, вкриті з поверхні вилугуваними чорноземами та сірими лісовими ґрунтами. Абсолютні висоти поверхні знаходяться в межах 124–195 м н.р.м. [18].

Для проведення дослідження було використано інформацію з повидільної бази даних лісівничо-таксаційних показників лісових ділянок ДП «Канівський лісгосп» матеріалів лісовпорядкування [20]. Зазначене підприємство у 2021 р. було реорганізовано та приєднано до філії «Корсунь-Шевченківське ЛГ» ДП «Ліси України». Всього було проаналізовано лісівничо-таксаційні показники вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок загальною площею 24558,6 га на територіях п'яти лісництв: Бучацьке, Канівське, Михайлівське, Софіївське, Степанецьке.

Для визначення запасів сухостійної мертвої деревини було відібрано лісові ділянки з повидільної бази даних лісівничо-таксаційних показників лісових ділянок, на яких під час лісовпорядкування виявлено сухостій. Середній запас сухоюстю по деревних видах розраховували шляхом ділення загального запасу детриту на площу

лісових насаджень відповідного деревного виду, в яких зосереджено запаси. Аналогічним чином оцінено середні показники для типів лісу, трюфотопів та гігротопів. Аналіз даних було проведено за допомогою програмних засобів MS Excel 2016. Під час дослідження як допоміжні інструменти було використано картографічні матеріали Інтернет-ресурсів Google Maps. Застосовано такі методи дослідження: математичні, аналіз, порівняння.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Площа лісових насаджень, у яких під час лісовпорядкування виявлено сухостій, становила 3439,4 га, або 14,0% від загальної вкритої лісом площі. Серед лісів, де виявлено сухостій, найбільша частка за площею належить до захисних (71,1%), значно менше — до експлуатаційних (17,2), рекреаційно-оздоровчих (9,7) і найменше — до лісів природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення (2,0%). У захисних лісах зосереджена також основна частина загального запасу всього сухоюстю (69,4%) (табл. 1).

Середній запас сухоюстю виявився найвищим у лісах природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення — $13,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, дещо меншим — в експлуатаційних лісах — $11,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, у захисних та рекреаційно-оздоровчих лісах — $9,8 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

Загалом, сухостій було виявлено у лісостанах 15 деревних видів, загальний запас якого становив 34660 м^3 (табл. 2).

Як видно з табл. 2, у досліджуваних лісових насадженнях середній запас сухостійної мертвої деревини за деревними видами становить від $5,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ (сосна кримська) до $20,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ (дуб червоний), загалом для всіх деревних видів — $10,1 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Основна частина запасу грубого деревного детриту (85,8%) зосереджена в насадженнях двох деревних видів — сосни звичайної й акації білої, які є переважачими у лісовому фонді досліджуваного об'єкта. У лісових насадженнях із домінуванням у деревному ярусі сосни звичайної

Таблиця 1. Розподіл площ, запасів деревостанів та сухоостою за категоріями лісів

Категорії лісів	Деревостани		Сухостій	
	площа, га	запас, тис. м ³	площа, га	запас, тис. м ³
Захисні ліси	18933,7	3846,43	2448,9	24,04
Рекреаційно-оздоровчі ліси	1773,5	318,66	332,9	3,27
Ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення	1305,0	250,76	67,5	0,88
Експлуатаційні ліси	2546,4	570,21	590,1	6,47
Разом	24558,6	4986,06	3439,4	34,66

Примітка: сформовано автором із використанням даних матеріалів лісовпорядкування та результатів обчислень, виконаних автором.

Таблиця 2. Запаси сухоостою у лісових насадженнях переважаючих деревних видів

№ з/п	Переважаючий деревний вид насаджень	Площа насаджень, в яких виявлено сухостій, га	Загальний запас сухоостою, м ³	Середній запас сухоостою, м ³ ·га ⁻¹
1	Акація біла (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	301,7	2710	9,0
2	Береза повисла (<i>Betula pendula</i> Roth.)	57,2	570	10,0
3	Верба біла (<i>Salix alba</i> L.)	2,3	30	13,0
4	Вільха чорна (<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaerth)	35,0	320	9,1
5	Гراب звичайний (<i>Carpinus betulus</i> L.)	134,3	1570	11,7
6	Дуб звичайний (<i>Quercus robur</i> L.)	280,3	2100	7,5
7	Дуб червоний (<i>Quercus rubra</i> L.)	0,5	10	20,0
8	Липа дрібнолиста (<i>Tilia cordata</i> Mill.)	0,9	10	11,1
9	Осика (<i>Populus tremula</i> L.)	11,1	120	10,8
10	Сосна звичайна (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	2592,9	27020	10,4
11	Сосна кримська (<i>Pinus pallasiana</i> (Lamb.) Holmboe)	8,9	40	5,0
12	Тополя канадська (<i>Populus canadensis</i> Moench)	5,8	80	13,8
13	Тополя пірамідальна (<i>Populus pyramidalis</i> Rozier)	5,3	50	9,4
14	Ялина європейська (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.)	1,7	20	11,8
15	Ясен зелений (<i>Fraxinus lanceolata</i> Borkh.)	1,5	10	6,7
Разом		3439,4	34660	10,1

Примітка: сформовано автором із використанням даних матеріалів лісовпорядкування та результатів обчислень, виконаних автором.

сухостій виявлено на площі 2592,9 га запасом 27020 м³, що становить 75,4% від загальної площі насаджень, та 78,0% від загального запасу сухоостою в насаджен-

нях, де проводився облік мертвої деревини. У насадженнях зазначеного деревного виду середній запас сухоостою був рівним 10,4 м³·га⁻¹. У лісових насадженнях з пере-

важанням акації білої сухостій виявлено на площі 301,7 га запасом 2710 м³. Отже, частка площі лісових насаджень зазначеного деревного виду від загальної площі насаджень, де проводився облік сухостою, становить 8,8%, для запасу відповідна частка — 7,8%. У насадженнях акації білої середній запас сухостою був 9,0 м³·га⁻¹.

У лісових насадженнях середній запас сухостійної мертвої деревини за тротопами виявився найбільшим у борах — 14,4 м³·га⁻¹, а найменшим — у грудах (дівровах) 8,9 м³·га⁻¹, займаючи проміжні значення у суборах — 9,9 м³·га⁻¹ і сугрудах (судівровах) — 10,5 м³·га⁻¹. За гіротопами у лісових насадженнях разом для усіх деревних видів середні запаси сухостою були такими: для сухих умов — 12,1 м³·га⁻¹, свіжих — 9,9 м³·га⁻¹, вологих — 10,1 м³·га⁻¹, сирих — 8,3 м³·га⁻¹, мокрих — 14,6 м³·га⁻¹.

Сухостій виявлено в лісових насадженнях 17 типів лісу, найбільше його за запасом зосереджено у свіжому дубово-сосновому суборі (18670 м³, або 53,9%), значно менше — у свіжій грабовій діврові (4530 м³, або 13,1%), свіжій грабово-сосновій судіврові (3400 м³, або 9,9%), свіжому сосновому бору (3070 м³, або 8,9%), сухій пакленовій судіврові (2080 м³, або 6,0%), а в інших типах лісу його частка є незначною (табл. 3).

За площею насаджень, де проводився облік сухостою, найбільші частки мають свіжий дубово-сосновий субір (1892,6 га, або 55,0%), значно менші — свіжа грабова діврова (531,4 га, або 15,4%), свіжа грабово-соснова судіврова (387,0 га, або 11,2%), свіжий сосновий бір (212,8 га, або 6,2%), а частки решти типів лісу є незначними. Середній запас сухостійної мертвої деревини по типах лісу становить від 5,7 м³·га⁻¹

Таблиця 3. Розподіл площ лісових насаджень, де виявлено сухостій, і його запасів за типами лісу

№ з/п	Назви типів лісу	Індекси типів лісу	Площа насаджень, га	Запас сухостою	
				загальний, м ³	середній, м ³ ·га ⁻¹
1	Свіжий сосновий бір	A ₂ -C	212,8	3070	14,4
2	Свіжий дубово-сосновий субір	B ₂ -дC	1892,6	18670	9,9
3	Вологий дубово-сосновий субір	B ₃ -дC	7,6	70	9,2
4	Суха пакленова судіврова	C ₁ -кпД	153,4	2080	13,6
5	Свіжа еродована грабова судіврова	C ₂ -гДе	8,7	50	5,7
6	Свіжий грабово-дубово-сосновий сугруд	C ₂ -г-дC	61,2	920	15,0
7	Свіжа грабово-соснова судіврова	C ₂ -г-сД	387,0	3440	8,9
8	Волога грабова судіврова	C ₃ -гД	9,3	90	9,7
9	Вологий грабово-дубово-сосновий сугруд	C ₃ -г-дC	1,7	20	11,8
10	Волога грабово-соснова судіврова	C ₃ -г-сД	26,6	270	10,2
11	Вологий запланий вербово-тополевий сугруд	C ₃ -верТз	0,7	10	14,3
12	Сирий чорновільховий сугруд	C ₄ -Віл.ч.	28,4	210	7,4
13	Суха грабова діврова	D ₁ -гД	105,0	1050	10,0
14	Свіжа грабова діврова	D ₂ -гД	531,4	4530	8,5
15	Волога грабова діврова	D ₃ -гД	6,4	70	10,9
16	Сирий чорновільховий груд	D ₄ -Віл.ч.	1,8	40	22,2
17	Мокрий чорновільховий груд	D ₅ -Віл.ч.	4,8	70	14,6
Разом			3439,4	34660	10,1

Примітка: сформовано автором із використанням даних матеріалів лісовпорядкування та результатів обчислень, виконаних автором.

(свіжа еродована грабова судіброва) до $22,2 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ (сирий чорновільховий груд). Для переважаючих типів лісу – свіжого дубово-соснового субору та свіжої грабової діброви середній запас становив $9,9 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ і $8,5 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, відповідно.

Цікавим є розподіл запасів сухоостою у насадженнях переважаючого деревного виду – сосни звичайної за класами віку (табл. 4; рис. 1). Виявлено тенденцію до збільшення середнього запасу сухостійної деревини зі збільшенням віку насаджень. Загалом середні запаси сухоостою є дуже низькими порівняно з середніми запасами ростучих деревостанів.

Найнижчий середній запас сухоостою був у наймолодших (III клас віку) насадженнях – $6,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, а найвищий – $20,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ – у найстарших насадженнях (XV клас віку).

На рис. 2 зображено середні запаси сухоостою у насадженнях акації білої за класами віку. Як і для сосни звичайної, у насадженнях акації білої також виявлено тенденцію підвищення середнього запасу сухостійної деревини зі збільшенням віку насаджень. Найбільший середній запас стоя-

чих відмерлих дерев ($10,6 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) у найстарших насадженнях (XIII клас віку).

Автори досліджували запаси мертвої деревини у лісових екосистемах Канівського природного заповідника [13] і встановили, що у 130–140-річних грабових насадженнях природного походження середній запас сухостійної мертвої деревини становить $9,2 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Згідно з даними власних досліджень, у лісових екосистемах НПП «Голосіївський» та НПП «Слобожанський», де проводився облік сухоостою під час лісовпорядкування, його середній запас становив $6,8 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ і $7,5 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, відповідно. У НПП «Голосіївський» середній запас мертвої деревини у свіжому дубово-сосновому суборі був рівним $13,6 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, у свіжій грабовій діброві – $7,5 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

За даними авторів [21], у лісових насадженнях в умовах Польщі запас мертвої деревини збільшується з віком деревостану для всіх категорій лісів. В експлуатаційних лісах зазначений показник був від $1,6 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ (1–20 років) до $9,7 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ (120–160 років). Схожу залежність виявлено і для запасу ростучого деревостану, однак лише для експлуатаційних лісів.

Таблиця 4. Розподіл площ насаджень сосни звичайної і запасів сухоостою у них за класами віку

Класи віку (років)	Площа насаджень, га	Загальний запас сухоостою, м^3	Середній запас сухоостою, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$	Середній запас деревостану, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ *
3 (21–30)	20,1	120	6,0	147
4 (31–40)	198,1	1810	9,1	200
5 (41–50)	394,8	4520	11,4	263
6 (51–60)	712,2	7540	10,6	323
7 (61–70)	708,2	6520	9,2	343
8 (71–80)	330,2	3540	10,7	368
9 (81–90)	160,7	2100	13,1	333
10 (91–100)	37,3	360	9,7	335
11 (101–110)	16,3	240	14,7	301
12 (111–120)	4,0	50	12,5	238
15 (141–150)	11,0	220	20,0	270
Разом	2592,9	27020	10,4	282

Примітка: * середній запас деревостану наведено для усіх насаджень деревного виду відповідного класу віку (незалежно від наявності сухоостою) на території дослідження.

Сформовано автором із використанням даних матеріалів лісовпорядкування та результатів обчислень, виконаних автором.

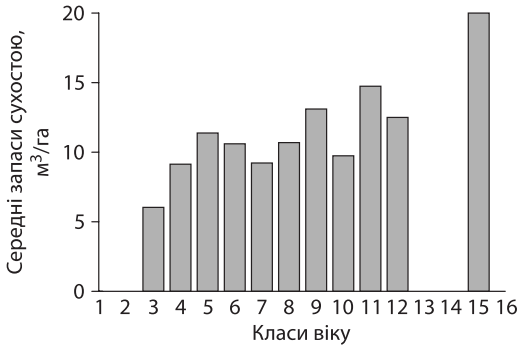


Рис. 1. Середні запаси сухоостою у насадженнях сосни звичайної за класами віку (тривалість класу віку — 10 років. 1: 1–10, 2: 11–20, ...)

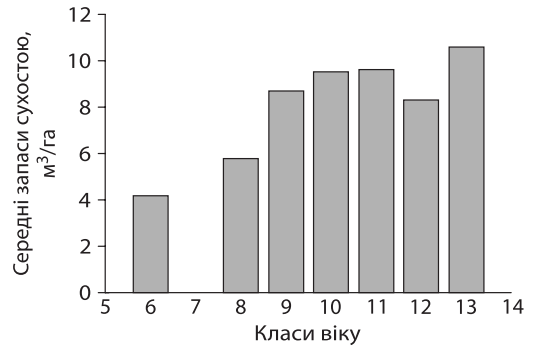


Рис. 2. Середні запаси сухоостою у насадженнях акації білої за класами віку (тривалість класу віку — 5 років. 1: 1–5, 2: 6–10, ...)

Запас мертвої деревини у рівнинних умовах у лісах природоохоронних територій ($26,9 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) статистично значущо перевищував показник для експлуатаційних лісів ($4,1 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) [21].

Згідно з даними звіту [22], станом на 2015 р. відсоток загального запасу відмерлої деревини від запасу ростучих деревостанів становив від 3% до понад 10%. Запас сухостійної відмерлої деревини для більшості країн Європи дорівнює $2\text{--}8 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ [23]. Середній запас мертвої деревини у природних середовищ лісів України оцінено у $6,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ (сухостій — $3,7 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, лежача мертва деревина — $2,3 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$). На відміну від більшості країн Європи для лісів України характерним є переважання саме сухостійної мертвої деревини.

Отже, можна зробити висновок, що отримані нами дані щодо запасів мертвої деревини в лісах Канівського Придніпров'я загалом узгоджуються з результатами інших подібних досліджень. Як і очікувалося, середні запаси сухоостою у лісових насадженнях, де здійснюються лісгосподарські заходи, є близькими до $10,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, і вони є значно нижчими порівняно з лісовими екосистемами, що розвиваються без втручання людини. У досліджуваному об'єкті є лісові насадження з запасом сухоостою $20,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, однак вони зустрічаються поодинокі, а їх частка як за площею,

та і за запасом є вкрай низькою. Сухостій відмічено лише на 14,0% вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок, що є надзвичайно низьким показником. Водночас, проаналізовані нами дані матеріалів лісовпорядкування є орієнтовними, що надають лише загальну інформацію про наявність мертвої деревини у лісовому фонді досліджуваного об'єкта.

На формування запасів деревного детриту у лісових екосистемах впливає низка чинників, серед яких породний склад і запас насаджень, вікова структура деревостанів, інтенсивність та частота стихійних природних явищ (вітровали, вітроломи і сніголоми тощо) у регіоні, вплив біотичних чинників, а також вплив антропогенної діяльності. Лісгосподарська діяльність розглядається як один із важливих чинників, які впливають на запаси деревного детриту.

Нині дискусійним є питання щодо мінімальних запасів відмерлої деревини у лісових насадженнях, де ведеться лісгосподарська діяльність [11]. Водночас, більшість науковців вважають, що такі запаси повинні забезпечувати збереження для усіх видів, які є залежними від мертвої деревини лісових екосистемах як на рівні насаджень, так і на рівні ландшафту. Як зазначають автори у роботі [4], до господарського освоєння лісів людиною запас

мертвої деревини у лісах Європи становив $130\text{--}150\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$, нині ж лише $11,5\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$, від $2,3\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$ (Португалія) до $28,0\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$ (Словаччина) [22].

Очевидно, що низькі запаси деревного детриту не можуть забезпечити повноцінне виконання його функцій у лісовій екосистемі. Нині загально визнано, що запас мертвої деревини, який повинен бути у лісових насадженнях для збереження усіх залежних від неї видів, становить близько $20\text{--}30\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$, або $5\text{--}10\%$ від запасу ростучого деревостану [5; 24]. Для умов бореальних та рівнинних лісів Європи інші автори повідомляють, що мінімально достатні запаси деревного детриту сягають $10\text{--}80\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$, з критичним значенням $30\text{--}50\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$ для мішаних листяних лісів [25].

Отже, попередньо можна констатувати, що у досліджуваних нами лісових насадженнях запаси сухоостою є вкрай низькими і не досягають рекомендованих науковцями мінімальних значень. Основною ймовірною причиною низьких запасів мертвої деревини є вплив лісгосподарської діяльності (рубок), під час яких вилучаються сухостійні дерева. Особлива увага має бути надана мертвій деревині у лісових насадженнях природоохоронного, наукового й

історико-культурного призначення, а також у захисних лісах та об'єктах Смарагдової мережі. Водночас, у контексті екосистемних послуг мертвої деревини важливим є не лише її запаси, а і різноманітність компонентів за породним складом, розмірами, класами деструкції. Тому подальші дослідження можуть бути спрямовані на детальне вивчення зазначених показників.

ВИСНОВКИ

Отже, досліджено лісівничо-екологічні особливості запасів відмерлої сухостійної деревини у лісових насадженнях Середнього Придніпров'я. Сухостій виявлено на $14,0\%$ вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок у насадженнях 15 з 40 деревних видів, у 17 з 32 типів лісу, які є у лісовому фонді досліджуваного об'єкта. Запаси сухостійної відмерлої деревини у лісових насадженнях є низькими, що, можливо, зумовлено впливом лісгосподарських заходів, під час яких вирубуються відмерлі дерева. Отримані дані можуть бути використані під час досліджень особливостей формування запасів деревного детриту у лісах Середнього Правобережного Придніпров'я (Лісостеп України) та його значення у збереженні біорізноманіття.

ЛІТЕРАТУРА

- Harmon M.E., Franklin J.F., Swanson F.J. et al. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in ecological Research*. 1986. No 15. P. 133–302. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(03\)34002-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(03)34002-4).
- Franklin J.F., Shugart H.H. and Harmon M.E. Tree death as an ecological process. *BioScience*. 1987. Vol. 37. No. 8. P. 550–556.
- Oettel J., Lapin K., Kindermann G. et al. Patterns and drivers of deadwood volume and composition in different forest types of the Austrian natural forest reserves. *Forest Ecology and Management*. 2020. Vol. 463. 118016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118016>.
- Nilsson S.G., Niklasson M., Hedin J. et al. Densities of large living and dead trees in old-growth temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management*. 2002. Vol. 161. P. 189–204. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00480-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00480-7).
- Humphrey J.W., Sippola A.-L., Lempérière G. et al. Deadwood as an indicator of biodiversity in European forests: from theory to operational guidance. *EFI-Proceedings*. 2004. Vol. 51. P. 193–206.
- Moreira-Arce D., Vergara P.M., Fierro A. et al. Standing dead trees as indicators of vertebrate diversity: Bringing continuity to the ecological role of senescent trees in austral temperate forests. *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 129. 107878. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107878>.
- Ódor P., Dort K., Aude E. et al. Diversity and composition of dead wood inhabiting bryophyte communities in European beech forests. *Boletín de la Sociedad Española de Briología*. 2005. No. 26–27. P. 85–102.
- Jonsell M., Weslien J. and Ehnstrom B. Substrate requirements of red-listed saproxylic invertebrates in Sweden. *Biodiversity and Conservation*. 1998. Vol. 7. P. 749–764. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1008888319031>.
- Butler R. and Schlaepfer R. Dead wood in managed forests: how much is enough? *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*. 2004. Vol. 155. No. 2. P. 31–37.
- Чернявський М., Іжик Г. Відмерла деревина у букових пралісах як комплекс мікросередовищ існування грибів. *Вісник Львівського університету. Сер.: Географія*. 2014. Вип. 45. С. 144–149. DOI:

- <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2014.45.1159>. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/geography/article/view/1159>.
- Merganycova K., Merganic J., Svoboda M. et al. Deadwood in Forest Ecosystems. *Forest Ecosystems – More than Just Trees* / Blanco J., Lo Y. (Eds.). *IntechOpen*, 2012. P. 81–108. DOI: 10.5772/31003. URL: <https://www.intechopen.com/books/forest-ecosystems-more-than-just-trees/deadwood>.
 - Соломаха І.В., Шевчик В.Л. Фітосозологічне значення об'єктів смарагдової мережі Дніпровського екологічного коридору в межах Лісостепу України. *Біологічні системи*. 2020. Т. 12. Вип. 1. С. 72–83. DOI: <https://doi.org/10.31861/biosystems.2020.01.072>.
 - Чорнобров О.Ю., Шевчик В.Л., Соломаха І.В. Кількісні та якісні показники грубого детриту у лісах з домінуванням *Carpinus betulus* L. Канівського природного заповідника. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 1. С. 42–53. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2021.227238>.
 - Соломаха І.В., Чорнобров О.Ю. Еколого-типологічна оцінка лісової рослинності Середнього Придніпров'я (Лісостеп України). *Агроекологічний журнал*. 2021. № 2. С. 7–18. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234448>.
 - Лакида П.І., Биченко В.Б. Лісівничо-таксаційна характеристика дубових лісовостанів Придніпровського Правобережного Лісостепу. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27 (5). С. 11–14. DOI: <https://doi.org/10.15421/40270501>. URL: <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/1058>.
 - Чорнобров О.Ю., Христецька М.В. Лісівничо-екологічні особливості розподілу запасів поваленої мертвої деревини у лісових екосистемах Канівського Придніпров'я. *Агроекологічний журнал*. 2023. № 4. С. 53–64. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2023.293753>. URL: <http://journalagroeco.org.ua/article/view/293753>.
 - Екологічна енциклопедія: у 3 т. / за ред. А.В. Толстоухов. Київ: ТОВ «Центр екологічної освіти та інформації», 2007. Т. 1: А-Е. 432 с.
 - Національний атлас України / за ред. Л.Г. Руденка. Київ: ДНВП «Картографія», 2008. 440 с.
 - Остапенко Б.Ф., Ткач В.П. Лісова типологія. Харків: Вид-во Харків. держ. аграрного університету ім. В.В. Докучаєва, 2002. 204 с.
 - Дані з повидільної бази даних лісівничо-таксаційних показників лісових ділянок ДП «Канівський лісгосп» (електронний файл). ВО «Укрдержліспроект», 2023.
 - Bujoczek L., Bujoczek M. and Zięba S. How much, why and where? Deadwood in forest ecosystems: The case of Poland. *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 121. 107027. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107027>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X20309663>.
 - State of Europe's Forests 2020. Forest Europe. URL: https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2016/08/SoEF_2020.pdf.
 - State of Europe's Forests 2015. Forest Europe. URL: https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2022/02/soef_21_12_2015.pdf.
 - Siitonen J. Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletin*. 2001. Vol. 49. P. 11–42.
 - Müller J. and Büttler R. A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European Forests. *European Journal of Forest Research*. 2010. Vol. 129. No. 6. P. 981–992. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0400-5>.

REFERENCES

- Harmon, M.E., Franklin, J.F., Swanson, F.J. et al. (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in ecological Research*, 15, 133–302. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(03\)34002-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(03)34002-4) [in English].
- Franklin, J.F., Shugart, H.H. & Harmon, M.E. (1987). Tree death as an ecological process. *BioScience*, 37(8), 550–556 [in English].
- Oettel, J., Lapin, K., Kindermann, G. et al. (2020). Patterns and drivers of deadwood volume and composition in different forest types of the Austrian natural forest reserves. *Forest Ecology and Management*, 463, 118016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118016> [in English].
- Nilsson, S.G., Niklasson, M., Hedin, J. et al. (2002). Densities of large living and dead trees in old-growth temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 161, 189–204. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00480-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00480-7) [in English].
- Humphrey, J.W., Sippola, A.-L., Lempérière, G. et al. (2004). Deadwood as an indicator of biodiversity in European forests: from theory to operational guidance. *EFI-Proceedings*, 51, 193–206 [in English].
- Moreira-Arce, D., Vergara, P.M., Fierro, A. et al. (2021). Standing dead trees as indicators of vertebrate diversity: Bringing continuity to the ecological role of senescent trees in austral temperate forests. *Ecological Indicators*, 129, 107878. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107878> [in English].
- Ódor, P., Dort, K., Aude, E. et al. (2005). Diversity and composition of dead wood inhabiting bryophyte communities in European beech forests. *Boletín de la Sociedad Española de Biología*, 26–27, 85–102 [in English].
- Jonsell, M., Weslien, J. & Ehnstrom, B. (1998). Substrate requirements of red-listed saproxylic invertebrates in Sweden. *Biodiversity and Conservation*, 7, 749–764. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:100888319031> [in English].
- Butler, R. & Schlaepfer, R. (2004). Dead wood in managed forests: how much is enough? *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 155 (2), 31–37 [in German].
- Cherniavskyi, M. & Izhyk, H. (2014). Vidmerla derevyna u bukovykh pralisakh yak kompleks mikrosere-dovyshch isnuvannia hrybiv [Dead wood in beech vir-

- gin forests as complex of microenvironment existence of mushrooms]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya: Heohrafichna — Visnyk of the Lviv University. Series: Geography*, 45, 144–149. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/geography/article/view/1159>. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/vvg.2014.45.1159> [in Ukrainian].
11. Merganicova, K., Merganic, J., Svoboda, M., Blanco, J. & Lo, Y. (Eds.) (2012). Deadwood in Forest Ecosystems. *Forest Ecosystems — More than Just Trees*, 81–108. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/31003>. URL: <https://www.intechopen.com/books/forest-ecosystems-more-than-just-trees/deadwood> [in English].
 12. Solomakha, I.V. & Shevchyk, V.L. (2020). Fitosozologichne znachennia ob'ektiv smaragdovoi mrezi Dniprovskoho ekolohichnoho korydoru v mezhakh Lisostepu Ukrainy [Phytosociological significance of Emerald network objects of Dnipro ecological corridor within the boundaries of the Forest-Steppe of Ukraine]. *Biologichni systemy — Biological systems*, 12 (1), 72–83. DOI: <https://doi.org/10.31861/biosystems2020.01.072> [in Ukrainian].
 13. Chornobrov, O.Yu., Shevchyk, V.L. & Solomakha, I.V. (2021). Kilkisni ta yakisni pokaznyky hruboho detrytu u lisakh z dominuvanniam *Carpinus betulus* L. Kanivskoho pryrodnoho zapovidnyka [Quantitative and qualitative attributes of dead wood in dominated by *Carpinus betulus* L. forests in Kaniv Nature Reserve]. *Ahroekolohichniy zhurnal — Agroecological journal*, 1, 42–53. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2021.227238> [in Ukrainian].
 14. Solomakha, I.V. & Chornobrov, O.Yu. (2021). Ekoloho-typolohichna otsinka lisovoi roslynnosti Serednoho Prydniprov'ia (Lisostep Ukrainy) [Ecological and typological assessment of forest vegetation of the Middle Dnieper (Forest-steppe of Ukraine)]. *Ahroekolohichniy zhurnal — Agroecological journal*, 2, 7–18. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234448> [in Ukrainian].
 15. Lakyda, P.I. & Bychenko, V.B. (2017). Lisivnycho-taksatsiina kharakterystyka dubovykh derevostaniv Prydniprovskoho Pravoberezhnoho lisostepu [Forestry-mensuration characteristic of oak forest stands of Pridneprovsk right bank Forest-Steppe]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy — Scientific Bulletin of UNFU*, 27 (5), 11–14. DOI: <https://doi.org/10.15421/40270501>. URL: <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/1058> [in Ukrainian].
 16. Chornobrov, O.Yu. & Khrystetska, M.V. (2023). Lisivnycho-ekolohichni osoblyvosti rozpodilu zapasiv povalenoj mertvoty derevyny u lisovykh ekosystemakh Kanivskoho Prydniprov'ia [Forestry and ecological features of fallen dead wood stocks distribution in forest ecosystems of Kaniv Dnieper region]. *Ahroekolohichniy zhurnal — Agroecological journal*, 4, 53–64. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2023.293753>. URL: <http://journalagroeco.org.ua/article/view/293753> [in Ukrainian].
 17. Tolstoukhov, A.V. (Ed.) (2007). *Ekolohichna entsyklopediia [Environmental Encyclopedia]*. Kyiv: TOV «Tsentr ekolohichnoi osvity ta informatsii». Vol. 1: A–E [in Ukrainian].
 18. Rudenko, L.G. (Ed.) (2008). *Natsionalnyi atlas Ukrainy [National atlas of Ukraine]*. Kyiv: DNVP «Kartografija» [in Ukrainian].
 19. Ostapenko, B.F. & Tkach, V.P. (2002). *Lisova typolohiia [Forest typology]*. Kharkiv: Vyd-vo Kharkivskoho derzhavnogo ahrarnoho universytetu im. V.V. Dokuchaieva [in Ukrainian].
 20. VO «Ukrderzhlisproekt» (2023). *Dani z povydilnoi bazy danykh lisivnycho-taksatsiinykh pokaznykiv lisovykh dilianok DP «Kanivskiy lishos» (elektronnyi fail) [Data from the database of forestry indicators of forest plots of the State Enterprise «Kanivskiy Lishos» (electronic file)]* [in Ukrainian].
 21. Bujoczek, L., Bujoczek, M. & Zięba, S. (2021). How much, why and where? Deadwood in forest ecosystems: The case of Poland. *Ecological Indicators*, 121, 107027. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107027>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X20309663> [in English].
 22. State of Europe's Forests 2020. Forest Europe. URL: https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2016/08/SoEF_2020.pdf [in English].
 23. State of Europe's Forests 2015. Forest Europe. URL: https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2022/02/soef_21_12_2015.pdf [in English].
 24. Siitonen, J. (2001). Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletin*, 49, 11–42 [in English].
 25. Müller, J. & Büttler, R. (2010). A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European Forests. *European Journal of Forest Research*, 129 (6), 981–992. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0400-5> [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 14.02.2024

БІОЛОГІЧНА АКТИВНІСТЬ ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТИХ ҐРУНТІВ ЗА РІЗНИХ РІВНІВ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

І.В. Волкогон

Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, Україна)
e-mail: i_volkogon@ukr.net; ORCID: 0000-0003-2987-2235

Досліджено біологічну (ферментативну) активність дерново-підзолистих ґрунтів у зоні безумовного (обов'язкового) відселення та в зоні відчуження Чорнобильської АЕС (ЧАЕС) за дії іонізуючої радіації. Використовували газохроматографічний ацетиленовий метод (для визначення потенційної азотфіксувальної (нітрогеназної) активності); біохімічні — для дослідження активності гідролітичних ферментів (целюлази і протеази), відповідальних за розкладання у ґрунті рослинних решток, а також ензимів, що беруть участь в окисно-відновних реакціях трансформації органічної речовини (каталази і поліфенолоксидази); статистичні. Результати проведених досліджень свідчать, що відносно невисоке зростання сумарної потужності дози у місці радіоактивного забруднення (від 0,2 до 1,6 мкГр/год) на полігоні № 1 (зона безумовного (обов'язкового) відселення — біля с. Христинівка Народицького р-ну Житомирської обл.) забезпечувало стимулювання потенційної нітрогеназної активності ґрунтових діазотрофів та активності як гідролітичних ферментів, так і оксидоредуктаз. Високі потужності доз радіоактивного забруднення (до 22,2, 61,6 і, особливо, до 84,0 мГр/год) на полігоні № 2, розташованому в зоні відчуження ЧАЕС безпосередньо в районі колишнього Рудого лісу, призводили до зниження ферментативної активності ґрунту. Отже, отримані результати однозначно свідчать про різний характер впливу рівнів іонізуючої радіації на біологічну активність дерново-підзолистих ґрунтів. Через більш ніж три десятиліття після аварії на ЧАЕС відносно невисокий рівень радіоактивного забруднення ґрунту у зоні безумовного (обов'язкового) відселення стимулює ферментативну активність ґрунтової мікробіоти. У зоні відчуження ЧАЕС за високого радіоактивного забруднення зберігається негативний вплив іонізуючої радіації на прояв активності ґрунтових мікроорганізмів. Одержані результати значною мірою корелюють із показниками чисельності у досліджуваних ґрунтах азотфіксаторів, а також мікроорганізмів-представників сахаролітичного (мікроміцети і целюлозоруйнівної бактерії) і пептолітичного (амоніфікатори) шляхів деструкції рослинних решток, що показано нами раніше.

Ключові слова: Чорнобильська АЕС, потужність дози поглиненої радіації, зона безумовного (обов'язкового) відселення, зона відчуження, ферментативна активність.

ВСТУП

Як відомо, ґрунтові мікроорганізми беруть безпосередню участь у формуванні родючості ґрунту, збагачуючи його Нітрогеном, розчиняючи важкорозчинні сполуки Фосфору, Калію та інших біогенних елементів, продукуючи фізіологічно активні сполуки, необхідні як для підтримки гомеостазу в ґрунті, так і для регулювання росту і розвитку рослин [1; 2]. Саме мікроорганізми відповідальні за ферментативне розкладання рослинної мортмаси і синтез високомолекулярних речовин у складних гумусових сполуках, акумулюючи в складних високомолекулярних речовинах основну кількість поживних для рослин речовин

[3]. Під час здійснення процесів розкладання мікробна біомаса отримує (імобілізує) і вивільняє (мінералізує) поживні речовини. Без цієї життєво важливої діяльності мертва рослинна маса або детрит накопичувалися б і обмежували доступні поживні речовини для рослин. Розкладання мортмаси є ключовим процесом, який підтримує численні функції екосистем, серед яких: колообіг Карбону; формування та стабілізація структури ґрунту; надходження поживних речовин (передусім сполук Нітрогену); баланс парникових газів і якість атмосфери; деградація агрохімікатів; пригнічення хвороб та захист рослин [4].

На стан угруповань ґрунтової мікробіоти можуть впливати різноманітні чинники як хімічної, так і фізичної природи, в т. ч. й іонізуюче випромінювання, яке здатне негативно позначитися практично на всіх біологічних процесах у ґрунті [5].

Важливим показником стану угруповань мікроорганізмів забруднених ґрунтів є не лише чисельність представників окремих еколого-трофічних груп, але і їхня активність. У зв'язку з вищезазначеним, **метою роботи** було з'ясування залежності ферментативної активності ґрунтів від рівня радіоактивного забруднення.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дози іонізуючої радіації, за яких відбувається пригнічення життєздатності мікроорганізмів та їхня загибель, варіюють у дуже широкому діапазоні [6; 7], тому теоретично виживання мікроорганізмів та їхня активність, наприклад, у ґрунті, буде залежати від градієнта радіоактивного забруднення. У цьому контексті зони безумовного (обов'язкового) відселення та відчуження після аварії на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС) стали своєрідними природними лабораторіями з просторово змінними рівнями забруднення. Ці місця дають можливість здійснювати дослідження, які допоможуть відповісти на низку питань.

Однак, незважаючи на досить інтенсивні дослідження впливу радіації на довкілля після аварій на ЧАЕС та АЕС «Фукусіма-1», питанням реакції ґрунтових мікроорганізмів, і особливо тих, що беруть участь у трансформації органічної речовини, на радіоактивне забруднення присвячено небагато робіт. Більшість досліджень у цьому напрямі проведено в перші роки після аварії [8–11]. Основними висновками цих робіт є твердження про домінування мікроміцетів в угрупованнях ґрунтових мікроорганізмів і зменшення в ґрунті чисельності як грибів, так і бактерій за високих рівнів радіоактивного забруднення.

Пізніше у дослідженнях Ґу з співавт. [12] впливу радіоактивного забруднення на популяційну різноманітність та метаболіч-

ні характеристики мікроорганізмів ґрунту із забруднених радіоактивними речовинами зон показано, що радіація змінила структуру й функції мікробного угруповання. Зі збільшенням рівня радіоактивного забруднення чисельність бактерій, як і їхня активність, поступово зменшувалися. Подібні результати отримано під час вивчення зразків із найбільш забруднених радіоактивним цезієм районів префектури Фукусіми [13].

На противагу цьому, в ґрунтових зразках із високим рівнем радіоактивності виявлено більше різноманіття бактеріальних таксонів порівняно зі слабо забрудненим ґрунтом [14].

За результатами досліджень із використанням комбінованого таксономічного і метагеномного підходу визначено, що у зразках ґрунтів, відібраних із забруднених радіонуклідами територій ЧАЕС і префектури Фукусіми, угруповання прокариотів у ґрунтах із високими рівнями радіонуклідів мають функціональні профілі, які дають змогу їм справлятися з радіоактивним забрудненням [15].

У нашій попередній публікації [16] показано, що відносно невисокі рівні радіоактивного забруднення дерново-підзолистого ґрунту (потужність дози на ділянці до 1,57 мкГр/год) у зоні безумовного (обов'язкового) відселення (Житомирська обл.) стимулювали розвиток представників сахаролітичного і пептолітичного шляхів деструкції мортмаси (мікроміцетів і целюлозоруйнівних бактерій та амоніфікаторів, відповідно). Натомість у зоні відчуження сильне забруднення радіонуклідами дерново-підзолистого ґрунту призводило до значного зменшення чисельності мікробіоти як порівнювати з показниками дослідженого полігону в Житомирській обл.

Отже, існують значні наукові розбіжності щодо масштабів впливу іонізуючої радіації на довкілля в регіонах, забруднених радіонуклідами. Особливо гострі наукові дебати точаться щодо тривалого, хронічного впливу помірному рівню іонізуючої радіації на біорізноманіття та метаболічну активність мікробіоти [17; 18]. Саме тому

проведення додаткових досліджень необхідне для розуміння впливу радіоактивних викидів на довкілля. Це підсилюється розумінням того, що протягом більш ніж трьох десятиліть із часу Чорнобильської трагедії у ґрунті відбулися певні зміни ступеня радіоактивності, зумовлені природними процесами (насамперед, унаслідок розпаду довговічних радіонуклідів ^{90}Sr і ^{137}Cs , їхньої вертикальної міграції по ґрунтовому профілю та іммобілізації ^{137}Cs глинистими мінералами ґрунту) [19].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження здійснювали на двох полігонах. Агрохімічні показники дерново-підзолистих ґрунтів полігонів наведені у нашій попередній публікації [16]. Вони близькі за значеннями і, на нашу думку, задовольняють умови проведення експерименту. Полігон № 1 розташований у зоні безумовного (обов'язкового) відселення (поблизу с. Христинівка Народицького р-ну Житомирської обл.) на місці покинутих у 90-х роках сільськогосподарських угіддях і характеризується градієнтом радіоактивного забруднення (відповідно, потужність радіаційного фону в точках Народичі-1, Народичі-2 і Народичі-3 становила 0,20, 1,00 і 1,57 мкГр/год). Полігон № 2 знаходиться у зоні відчуження ЧАЕС безпосередньо біля колишнього Рудого лісу і характеризується фоном від 3,70

до 84,00 мкГр/год (точки ЧЗВ-1, ЧЗВ-2, ЧЗВ-3 і ЧЗВ-4 із потужністю фону 3,70, 22,20, 61,60 і 84,00, відповідно) (табл. 1).

Отже, потужність дози у різних точках варіює від 0,2 мкГр/год до 84,0 мкГр/год, тобто відрізняється більш ніж у 420 разів. Такий градієнт у радіологічних характеристиках ґрунтів, на нашу думку, дає можливість оцінити вплив на стан ґрунтової мікробіоти саме рівнів іонізуючого випромінювання.

У динаміці досліджували потенційну активність процесу азотфіксації (потенційну нітрогеназну активність) у ґрунтах. Потенційна активність забезпечує можливість, за створення оптимальних умов вологозабезпечення, температури і живлення мікроорганізмів, рельєфно відстежити вплив досліджуваного чинника [20] (у нашому випадку – рівнів радіоактивного забруднення) на активність мікробіоти.

Потенційну нітрогеназну активність визначали ацетиленовим методом [21] у модифікації М. Умарова [20]. До наважок ґрунту (5,0±0,01 г) у посудинах (медичних флаконах) об'ємом 40 см³, додавали воду (60% від ППВ), розчин D-глюкози (2% від маси ґрунту). Одночасно відбирали зразки для визначення вологості ґрунту. Посудини з ґрунтом закривали ватними пробками і витримували впродовж 72 год у термостаті за температури 26±2°C. Після завершення інкубації в посудинах замінювали ватні пробки на гумові, вводили

Таблиця 1. Значення радіологічних показників у місцях відбору ґрунтових зразків

Місця відбору зразків ґрунту	Питома активність ґрунту ^{137}Cs , кБк/кг	Питома активність ґрунту ^{90}Sr , кБк/кг	Сумарна потужність дози, мкГр/год
Полігон № 1 (зона безумовного (обов'язкового) відселення)			
Народичі-1	0,6±0,04	0,03±0,004	0,20
Народичі-2	2,9±0,08	0,2±0,01	1,00
Народичі-3	4,6±0,1	0,3±0,01	1,57
Полігон № 2 (зона відчуження Чорнобильської АЕС)			
ЧЗВ-1	10,4±0,2	0,8±0,1	3,7
ЧЗВ-2	62,4±0,6	5,0±0,4	22,2
ЧЗВ-3	149,3±1,4	25,0±0,3	61,6
ЧЗВ-4	203,8±4,1	34,0±0,3	84,0

ацетилен у кількості 10% від об'єму газової фази (3,5 см³). Після експозиції зразків з ацетиленом протягом 1 год шприцом відбирали газові проби і аналізували на газовому хроматографі «Chrom-5» (Чехія) з полум'яно-іонізаційним детектором (колонка сталева завдовжки 3 м, заповнена сорбентом Parapak Q 60–80 mesh (Waters Corporation, USA); температура термостата 40°C; витрати газів: водню — 15 см³/хв, азоту — 100 см³/хв, повітря — 500 см³/хв).

Потенційну нітрогеназну активність у ґрунті у наномолях C₂H₄ на 1 г ґрунту за годину розраховували за формулою:

$$ПНА = E \cdot V_1 \cdot K / V_2 \cdot m,$$

де E — кількість етилену в газовій пробі, яка вводиться в хроматограф, нмоль; V_1 — об'єм газової фази в посудині, см³; K — коефіцієнт вологості ґрунту; V_2 — об'єм проби, що вводиться в хроматограф, см³; m — маса наважки ґрунту, г.

Крім дослідження впливу радіоактивного забруднення ґрунтів на нітрогеназну активність, у динаміці визначали активність ферментів, які беруть участь у процесах трансформації органічної речовини у ґрунті: гідролаз (целюлази та протеази) та оксидоредуктаз (каталази і поліфенолоксидази) [22; ДСТУ 7928:2015].

Целюлазну активність (активність 1,4-β-D-глюкан-4-глюкангідролази) відзначали методом інкубування ґрунту з ацетатним буфером, толуолом і карбоксиметилцелюлозою (КМЦ). Активність целюлази виражали у мкг глюкози на 10 г ґрунту за 48 год. Протеазну активність визначали за використання нінгідрину. Показники окреслювали у міліграмах гліцину на 1 г ґрунту за 24 год. Каталазну активність ґрунту з'ясовували за розщепленням H₂O₂ і титруванням пероксиду розчином КМпО₄. Активність каталази виражали в мл 0,1 н КМпО₄ на 1 г сухого ґрунту за 20 хв. Поліфенолоксидазну активність ґрунту визначали за методикою, яка базується на йодометричному титруванні реакційної суміші, що містить як субстрат пірокатехін, після його взаємодії з ґрунтовою суспензією.

Для оцінки відмінностей показників між варіантами розраховували середнє арифметичне і стандартні відхилення ($X + Sx$). Для розрахунків використовували програму Statistica 6.0 (StatSoft Inc., USA).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Важливою характеристикою діяльності ґрунтової мікробіоти є її нітрогеназна (азотфіксувальна) активність. Високоточний газохроматографічний метод її визначення, що базується на здатності бактеріального нітрогеназного ферментного комплексу відновлювати ацетилен до етилену як аналог відновлення N₂ до NH₃ (Hardy et al., 1968), дає можливість визначити зміни активності на рівні 10⁻⁹ моля C₂H₄, що практично властиве для діяльності однієї бактеріальної клітини. Отже, нітрогеназна активність ґрунту може бути індикаторним показником його стану. Це підтверджують отримані нами результати (табл. 2).

Так, у ґрунті полігону № 1 потенційна нітрогеназна активність зростала у міру збільшення радіоактивного навантаження. Найвищі показники отримано у точці Народичі-3, вони відрізнялися у 3,6–3,9 раза від значень у точках Народичі-1 і Народичі-2.

У зоні відчуження ЧАЕС активність азотфіксації була значно меншою за показники першого полігону. В межах полігону № 2 діяльність азотфіксувальних бактерій зменшувалася у міру зростання радіаційного навантаження, і в точці ЧЗВ-4 сягала найменшого, критичного рівня.

Відомо [22], що спрямованість процесів мінералізації і синтезу органічної ґрунтової речовини може відображати активність окремих специфічних ферментів. Найважливіші у ґрунтах біохімічні процеси, такі як розкладання целюлози і лігніну, синтез і деструкція гумусових сполук, тобто основні ланки ґрунтотворного процесу, проходять за безпосередньої участі ферментів. У такому випадку було досліджено активність ферментів, які належать до гідролаз — тих, що каталізують реакції гідро-

Таблиця 2. Потенційна нітрогеназна (азотфіксувальна) активність у дерново-підзолистих ґрунтах залежно від рівня радіоактивного забруднення, нмоль C_2H_4 /г ґрунту за 1 год (2021 р.)

Місця відбору зразків	I*	II	III
Полігон № 1			
Народичі-1	15,35+1,12	21,51+2,16	13,08+1,05
Народичі-2	18,41+1,45	28,45+2,12	15,24+1,30
Народичі-3	54,62+3,10	81,90+3,35	32,50+2,45
Полігон № 2			
ЧЗВ-1	10,18+1,00	12,45+1,17	6,14+0,23
ЧЗВ-2	9,54+1,29	10,58+0,65	6,30+0,19
ЧЗВ-3	8,95+1,22	10,15+0,42	6,05+0,47
ЧЗВ-4	2,10+0,15	3,12+0,10	1,18+0,09

Примітка: I – квітень 2021 р., II – липень 2021 р., III – вересень 2021 р.

літичного розщеплення внутрішньомолекулярних зв'язків у сполуках (целюлази як ферменту, відповідального за руйнування целюлози, а також протеази як ферменту, що здійснює деструкцію білкових речовин, у т. ч. й у рослинних рештках). Окрім того, визначали активність ензимів, що відносяться до оксидоредуктаз (каталази і поліфенолоксидази) – каталізаторів окисно-відновних реакцій, важливе значення яких відоме не лише як відображення загальної ґрунтової біодинаміки, але й у синтезі ґумусових сполук.

Слід зазначити, що вплив іонізуючої радіації на ферментативну активність ґрунтів у реальних умовах є маловивченим. Із доступної нам літератури відомо лише про дослідження впливу радіоактивного забруднення наземної екосистеми радіонуклідом ^{90}Sr (в умовах регіонального сховища радіоактивних відходів) на активність каталази, інвертази, дегідрогенази та уреаз [23]. Авторами не виявлено достовірних змін активності інвертази, дегідрогенази та уреаз за різних рівнів забруднення порівняно з контролем. Чутливим ензимом на дію радіоактивного забруднення у зазначених дослідженнях виявилася лише каталаза.

Целюлоза є домінантним компонентом рослинних решток і одним із основних субстратів у процесах трансформації орга-

нічних сполук ґрунту. Гідроліз целюлози здійснює целюлаза – фермент, що каталізує гідроліз бета (1,4)-глікозидних зв'язків у целюлозі з утворенням глюкози або целобіози, тобто розщеплює молекулу целюлози на моносахариди. Оскільки целюлаза безпосередньо впливає на швидкість розкладу рослинних решток, вивчення активності цього ензиму є одним із першочергових завдань під час дослідження біологічної активності ґрунтів.

Результати проведених досліджень показують чітку залежність активності ферменту від рівня радіоактивного забруднення (табл. 3).

Так, у ґрунті полігону № 1 активність целюлази зростає зі збільшенням поглиненої мікроорганізмами дози радіації, і є найбільшою у точці Народичі-3. Активність ферменту у ґрунті полігону № 2 є відносно невисокою, до того ж найменші показники відмічено у точці ЧЗВ-4.

Іншим важливим гідролітичним ферментом у ґрунті є протеаза. У результаті послідовного протеолітичного розщеплення сполук за участі протеаз до амінокислот і наступного процесу їх дезамінування у ґрунті формується пул доступних для рослин мінеральних азотних сполук (процес, відомий як амоніфікація).

Проведені нами дослідження протеазної активності ґрунтів свідчать про високі

Таблиця 3. Целюлазна активність у дерново-підзолистих ґрунтах залежно від рівня радіоактивного забруднення, 2021 р.

Місяця відбору зразків	Активність целюлази, мкг глюкози / 10 г ґрунту / 48 год		
	I*	II	III
Полігон № 1			
Народичі-1	12,05+2,10	14,21+2,18	11,28+3,00
Народичі-2	17,40+2,15	18,75+3,02	15,04+1,10
Народичі-3	24,71+3,06	31,92+2,15	20,55+2,38
Полігон № 2			
ЧЗВ-1	9,13+2,00	11,45+1,27	7,14+0,33
ЧЗВ-2	7,54+2,19	9,88+2,67	8,35+1,18
ЧЗВ-3	7,92+1,21	10,05+0,75	6,25+2,57
ЧЗВ-4	4,00+1,15	5,22+1,12	4,12+1,00

Примітка: I – квітень 2021 р., II – липень 2021 р., III – вересень 2021 р.

показники у ґрунті полігону № 1 (з найвищим рівнем у точці Народичі-3) і низькі значення у ґрунті полігону № 2. До того ж найнижчу активність відзначено у точці ЧЗВ-4 (табл. 4).

Активність каталази – відомого ферменту, який бере участь в окисно-відновних реакціях, також була істотно вищою у ґрунті полігону № 1, якщо порівнювати з полігоном № 2.

Найвищі показники каталазної активності відзначено у всі строки проведення

досліджень у точці Народичі-3. Найнижчі значення активності ензиму отримано у точці ЧЗВ-4 (табл. 5).

Ензими, які беруть безпосередню участь у перетворенні органічних сполук ароматичного ряду в компоненти гумусу, відносяться до поліфенолоксидаз. У зв'язку з цим, для визначення спрямованості процесів мінералізації-синтезу органічної речовини у ґрунті у ферментному комплексі найчастіше досліджують активність цих ензимів.

Таблиця 4. Протеазна активність ґрунтів залежно від рівня радіоактивного забруднення, 2021 р.

Місяця відбору зразків	Протеазна активність, мг гліцину/г ґрунту/24 год		
	I*	II	III
Полігон № 1			
Народичі-1	2,08+0,15	3,20+0,28	2,72+0,14
Народичі-2	2,45+0,27	3,75+0,32	3,10+0,10
Народичі-3	3,22+0,18	5,36+0,45	4,61+0,26
Полігон № 2			
ЧЗВ-1	0,90+0,05	1,55+0,08	1,11+0,08
ЧЗВ-2	0,74+0,10	1,64+0,02	0,87+0,02
ЧЗВ-3	0,75+0,05	1,17+0,04	0,65+0,03
ЧЗВ-4	0,22+0,01	0,25+0,02	0,28+0,02

Примітка: I – квітень 2021 р., II – липень 2021 р., III – вересень 2021 р.

Таблиця 5. Каталазна активність ґрунтів залежно від рівня радіоактивного забруднення, 2021 р.

Місяця відбору зразків	Каталазна активність, мл 0,1 н KMnO_4 / г ґрунту / 20 хв		
	I*	II	III
Полігон № 1			
Народичі-1	2,88+0,10	3,65+0,18	2,58+0,04
Народичі-2	3,15+0,14	4,32+0,20	2,90+0,08
Народичі-3	4,22+0,21	5,10+0,33	3,77+0,19
Полігон № 2			
ЧЗВ-1	1,24+0,08	2,55+0,10	1,10+0,04
ЧЗВ-2	0,94+0,10	1,94+0,05	0,95+0,03
ЧЗВ-3	0,85+0,07	1,38+0,01	0,75+0,03
ЧЗВ-4	0,14+0,02	0,44+0,01	0,19+0,01

Примітка: I – квітень 2021 р., II – липень 2021 р., III – вересень 2021 р.

Проведені дослідження свідчать про зростання поліфенолоксидазної активності у ґрунті полігону № 1 у міру збільшення поглиненої дози. До того ж найвищі показники відмічено у точці Народичі-3. Натомість, у зоні відчуження ЧАЕС активність ферменту є невисокою, а у точці ЧЗВ-4 показники відрізняються від усіх інших на 1–2 порядки (табл. 6).

Як уже зазначалося [1; 2], мікробні угруповання мають вирішальне значення для підтримки функцій екосистеми зав-

дяки їхній ролі в колообігу, утриманні та вивільненні основних поживних речовин і Карбону в ґрунті. Відповідно, хронічна дія іонізуючого випромінювання, може поставити під загрозу різноманітність і склад ґрунтової мікробіоти, що негативно позначиться практично на всіх біологічних процесах у ґрунті.

Однак наші попередні дослідження [16] свідчать про стимулювання розвитку представників практично всіх досліджених еколого-трофічних груп мікроорганізмів –

Таблиця 6. Поліфенолоксидазна активність ґрунтів залежно від рівня радіоактивного забруднення, 2021 р.

Місяця відбору зразків	Поліфенолоксидазна активність, мл 0,01 Н I_2 /г ґрунту/2 хв		
	I	II	III
Полігон № 1			
Народичі-1	0,280+0,014	0,335+0,021	0,229+0,014
Народичі-2	0,335+0,008	0,359+0,018	0,307+0,010
Народичі-3	0,368+0,023	0,403+0,023	0,345+0,015
Полігон № 2			
ЧЗВ-1	0,182+0,011	0,231+0,016	0,130+0,004
ЧЗВ-2	0,140+0,009	0,186+0,013	0,096+0,006
ЧЗВ-3	0,144+0,016	0,157+0,015	0,093+0,003
ЧЗВ-4	0,031+0,002	0,056+0,004	0,004+0,001

Примітка: I – квітень 2021 р., II – липень 2021 р., III – вересень 2021 р.

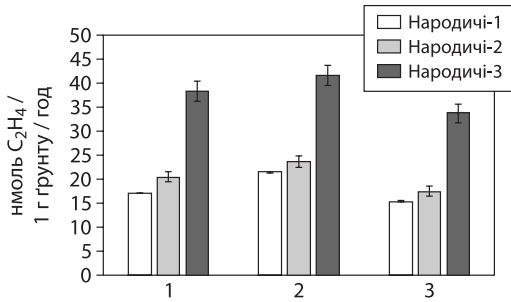


Рис. 1. Потенційна нітрогеназна активність у ґрунті полігону № 1 залежно від рівня радіоактивного забруднення, 2023 р.

Примітка: I – травень 2023 р., II – липень 2023 р., III – вересень 2023 р.

їхня чисельність істотно зростала у ґрунті точці Народичі-3 полігону № 1. Отримані результати ферментативної активності ґрунтів підтверджують ефект стимулювання діяльності мікробіоти за відносно невисокого рівня радіоактивного забруднення.

Можна припустити, що за цих умов протягом понад 35 років після аварії на ЧАЕС відбулися певні адаптаційні зміни мікроорганізмів. Не виключено також, що могла змінитися і структура їхніх угруповань із домінуванням радіотолерантних видів, що потребує додаткових досліджень.

Не можна також не враховувати такий радіобіологічний ефект, як радіаційне стимулювання, або радіаційний гормезис.

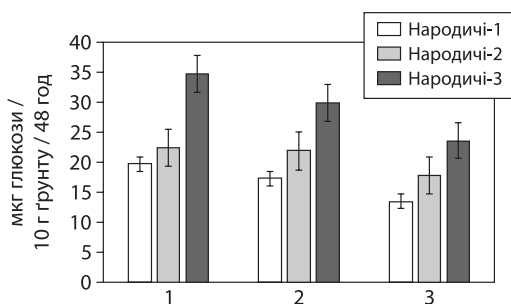


Рис. 2. Целюлазна активність у ґрунті полігону № 1 залежно від рівня радіоактивного забруднення, 2023 р.

Примітка: I – травень 2023 р., II – липень 2023 р., III – вересень 2023 р.

Відомо, що за деяких, порівняно невеликих доз опромінення можна спостерігати прискорення поділу клітин мікроорганізмів, скорочення їхнього клітинного циклу, формування колоній та інших процесів, які характеризують загалом прискорення росту й розвитку [24]. Саме на цьому, зокрема, базуються деякі радіаційно-біологічні технології прискорення процесів бродіння.

Слід зазначити, що об'єкти наших досліджень перебували в умовах хронічної дії іонізуючого випромінювання, тому цілком можливим є реалізація кожного з вищезазначених сценаріїв.

Повторне проведення досліджень біологічної активності ґрунту полігону № 1 у 2023 р. підтвердило зроблені нами висновки щодо стимулювального ефекту відносно невисоких рівнів радіації. Так, потенційна нітрогеназна активність ґрунту у всі строки проведення аналізів зростала від точки Народичі-1 до точки Народичі-3 у 1,3–1,4 раза (рис. 1). Отже, показники активності ферментного нітрогеназного комплексу як відображення метаболічної активності діазотрофів, свідчать про формування сприятливих умов у точці Народичі-3.

За дослідження активності інших ферментів у ґрунті полігону № 1 також підтверджено зроблені нами раніше висновки щодо позитивного впливу на ці показники відносно невисоких доз радіоактивного забруднення ґрунту через 36 років після аварії на ЧАЕС. Так, відмічено достовірне зростання целюлазної активності у ґрунті точки Народичі-3 (рис. 2).

Схожі залежності отримано також під час визначення активності іншого гідролітичного ферменту – протеази (рис. 3).

За визначення активності ферментів, що належать до класу оксидоредуктаз, також показано зростання показників у ґрунті точки Народичі-3. Активність каталази збільшується за цих умов у 1,5–1,7 раза (рис. 4) порівняно з показниками точки Народичі-1, а поліфенолоксидазна активність – в 1,1–1,2 раза (рис. 5).

Отже, проведені через 35–37 років після аварії на ЧАЕС дослідження біологічної

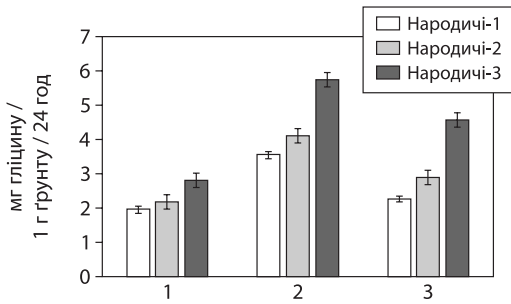


Рис. 3. Протеазна активність ґрунту (полігон № 1) залежно від рівня радіаційного забруднення, 2023 р.

Примітка: I – травень 2023 р., II – липень 2023 р., III – вересень 2023 р.

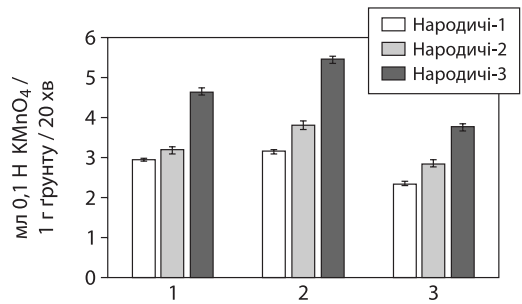


Рис. 4. Каталазна активність ґрунту (полігон № 1) залежно від рівня радіоактивного забруднення, 2023 р.

Примітка: I – травень 2023 р., II – липень 2023 р., III – вересень 2023 р.

активності ґрунтів, забруднених радіонуклідами, свідчать, що невисокі дози поглиненої радіації (до 1,57 мкГр/год) стимулюють метаболічну діяльність ґрунтової мікробіоти.

Визначення у наших дослідках активності ферментів нітрогенази, целюлази, протеази, каталази та поліфенолоксидази демонструють надзвичайно високу чутливість зазначених ензимів до дії іонізуючої радіації. Вважаємо, що дослідження активності зазначеного комплексу ферментів є надійним інструментарієм щодо встановлення реакції ґрунтової мікробіоти на забруднення ґрунтів радіонуклідами.

ВИСНОВКИ

Результати досліджень перебігу загальної біологічної та специфічної ферментативної активності у ґрунтах показують, що через 35–37 років після аварії на ЧАЕС відносно невисокі рівні радіоактивного забруднення ґрунту радіонуклідами ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr, які формують на території сумарну

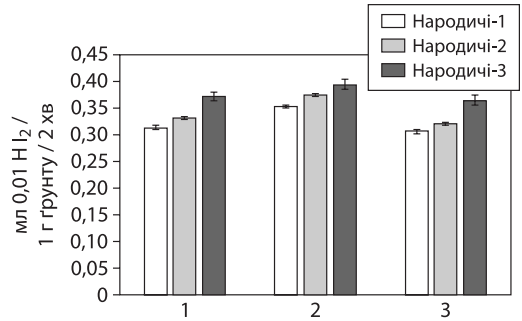


Рис. 5. Поліфенолоксидазна активність ґрунту (полігон № 1) залежно від рівня радіоактивного забруднення, 2023 р.

Примітка: I – травень 2023 р., II – липень 2023 р., III – вересень 2023 р.

потужність дози до 1,57 мкГр/год, можуть стимулювати метаболічну діяльність ґрунтової мікробіоти. Натомість, високі рівні забруднення, за яких потужність дози досягає 22,2, 61,6 і, особливо, 84,0 мкГр/год, значною мірою гальмують функціональну активність мікроорганізмів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Newton R.J., Jones S.E., Eiler A., McMahon K.D. and Bertilsson S. A guide to the natural history of freshwater lake bacteria. *Microbiol. Molecular Biol. Rev.* 2011. Vol. 75. P. 14–49. DOI: <https://doi.org/10.1128/MMBR.00028-10>.
2. McKenney E.A., Koelle K., Dunn R.R. and Yoder A.D. The ecosystem services of animal microbiomes. *Molecular Ecology.* 2018. Vol. 27. P. 2164–2172. DOI: <https://doi.org/10.1111/mec.14532>.
3. Singh R., Rani A., Kumar P., Shukla G. and Kumar A. Cellulolytic activity in microorganisms. *Bull. Pure and Appl. Sc.* 2017. Vol. 36(1). P. 28–37. DOI: <https://doi.org/10.5958/2320-3196.2017.00004.0>.
4. Stockdale E.A. and Murphy D.V. Managing soil microbial biomass for sustainable agro-ecosystems. *Microbial Biomass: A Paradigm Shift in Terrestrial Biogeochemistry.* World Scientific, London. 2017. P. 67–101.

5. Ager D., Evans S., Li H., Lilley A.K. and Van Der Gast C.J. Anthropogenic disturbance affects the structure of bacterial communities. *Environ. Microbiol.* 2010. Vol. 12. P. 670–678. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2009.02107.x>.
6. Al-Najjar M.A.A. and Albokari M.M. Shifts in microbial community composition in tannery-contaminated soil in response to increased gamma radiation. *Ann. Microbiol.* 2019. Vol. 69. P. 1567–1577. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13213-019-01541-z>.
7. Ryabova A., Kozlova O., Kadirov A. et al. DetR DB: A database of ionizing radiation resistance determinants. *Genes*. 2020. Vol. 11. 1477. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes11121477>.
8. Жданова Н.М., Захарченко В.О., Василевська А.Т. та ін. Особливості складу мікробіоти в ґрунтах зони впливу Чорнобильської АЕС. *Укр. ботан. журн.* 1994. № 51(2/3). С. 134–144.
9. Тугай Т.И., Жданова Н.Н., Желтоножский В.А. и др. Ответные реакции грибов, выделенных из различных по уровню радиоактивного загрязнения помещений объекта «Укрытие», на действие ионизирующего излучения. *Зб. наук. праць Інституту ядерних досліджень*. 2005. С. 128–136.
10. Романовская В.А., Соколов И.Г., Рокитко П.В., Чорная Н.А. Экологические последствия радиоактивного загрязнения для почвенных бактерий в 10 км зоне ЧАЭС. *Микробиология*. 1998. № 67(2). С. 274–280.
11. Ерусалимская Л.Ф., Корчак Г.И. Особенности микробных ценозов почвы в условиях длительного хронического загрязнения радионуклидами. *Гигиена населенных мест*. 1999. № 2(1). С. 125–136.
12. Gu M., Zhang Z., Wang W. et al. The Effects of Radiation Pollution on the Population Diversities and Metabolic Characteristics of Soil Microorganisms. *Water Air Soil Pollut.* 2014. Vol. 225. P. 2133. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2133-4>.
13. Ihara H., Kumagai A., Hori T. et al. Direct comparison of bacterial communities in soils contaminated with different levels of radioactive cesium from the first Fukushima nuclear power plant accident. *Sci Total Environ.* 2021. Vol. 756. P. 143844. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143844>.
14. Theodorakopoulos N., Fevrier L., Barakat M. et al. Soil prokaryotic communities in Chernobyl waste disposal trench T22 are modulated by organic matter and radionuclide contamination. *FEMS Microbiology Ecology*. 2017. Vol. 93. fix079. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/fix079>.
15. Hoyos-Hernandez C., Courbert C., Simonucci C. et al. Community structure and functional genes in radionuclide contaminated soils in Chernobyl and Fukushima. *FEMS Microbiol. Letters*. 2019. Vol. 366(21). fnz180. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsle/fnz180>.
16. Gudkov I.M., Volkohon I.V., Illienko V.V. et al. Impact of radioactive contamination of soils on the diversity of micropopulation and the transformation of organic substances. *Agricultural Science and Practice*. 2022. Vol. 9(3). P. 3–15. DOI: <https://doi.org/10.15407/agrisp9.03.003>.
17. Smith J. Field evidence of significant effects of radiation on wildlife at chronic low dose rates is weak and often misleading. A comment on «Is non-human species radiosensitivity in the lab a good indicator of that in the field? Making the comparison more robust» by Beaugelin-Seiller et al. *J. Environ. Radioact.* 2019. P. 105895. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.01.007>.
18. Beresford N., Horemans N., Raines K.E. et al. Towards solving a scientific controversy — The effects of ionising radiation on the environment. *J. Environ. Radioactivity*. 2019. P. 106033. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106033>.
19. Гудков І.М., Лазарев М.М. Проблеми реабілітації та повернення до використання забруднених радіонуклідами ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2018. Спецвип. С. 83–91.
20. Волкогон В.В., Надкернична О.В., Токмакова Л.М. та ін. Експериментальна ґрунтова мікробіологія. Київ: Аграрна наука, 2010. 464 с.
21. Hardy R.W.F., Holsten R.D., Jackson E.K. and Burns R.C. Application of the acetylene-ethylene assay for N₂-fixation: laboratory and field evolution. *Plant Physiol.* 1968. Vol. 43(8). P. 1185–1207.
22. Bilen S. and Turan V. Enzymatic Analyses in Soils. In: Amaran, N., Patel, P., Amin, D. (Eds.). *Practical Handbook on Agricultural Microbiology*. Springer Protocols Handbooks. Humana, New York, NY. 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1724-3_50.
23. Lavrentyeva G.V., Zaharova V.R., Mirzeabasov O.A. and Synzynys B.I. Influence of Radioactive Contamination of the Sr-90 Terrestrial Ecosystems on the Enzymatic Activity of the Soil. *Future of atomic energy — AtomFuture 2017: XIII International Youth Scientific and Practical Conference*. 2017. P. 137–142. DOI: <https://doi.org/10.18502/keg.v3i3.1613>.
24. Миллер Д.Р., Глазбрук А.Д., Муллен Б.М. и др. Предсказание выживаемости бактерий при УФ-облучении. *Жизнеспособность клеток, облученных в малых дозах: теоретические и клинические аспекты*. Москва: Медицина, 1980. С. 157–165.

REFERENCES

1. Newton, R.J., Jones, S.E., Eiler, A., McMahon, K.D. & Bertilsson, S. (2011). A guide to the natural history of freshwater lake bacteria. *Microbiol. Molecular Biol. Rev.*, 75, 14–49. DOI: <https://doi.org/10.1128/MMBR.00028-10> [in English].
2. McKenney, E.A., Koelle, K., Dunn, R.R. & Yoder, A.D. (2018). The ecosystem services of animal microbiomes. *Molecular Ecology*, 27, 2164–2172. DOI: <https://doi.org/10.1111/mec.14532> [in English].
3. Singh, R., Rani, A., Kumar, P., Shukla, G. & Kumar, A. (2017). Cellulolytic activity in microorganisms. *Bull. Pure and Appl. Sc.*, 36(1), 28–37. DOI: <https://doi.org/10.5958/2320-3196.2017.00004.0> [in English].
4. Stockdale, E.A. & Murphy, D.V. (2017). Managing soil microbial biomass for sustainable agro-ecosystems. *Microbial Biomass: A Paradigm Shift in Terrestrial Biogeochemistry*. (pp. 67–101). World Scientific, London [in English].
5. Ager, D., Evans, S., Li, H., Lilley, A.K. & Van Der Gast, C.J. (2010). Anthropogenic disturbance affects the structure of bacterial communities. *Environ. Microbiol.*, 12, 670–678. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2009.02107.x> [in English].
6. Al-Najjar, M.A.A. & Albokari, M.M. (2019). Shifts in microbial community composition in tannery-contaminated soil in response to increased gamma

- radiation. *Annals of Microbiology*, 69, 1567–1577. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13213-019-01541-z> [in English].
7. Ryabova, A., Kozlova, O., Kadirov, A. et al. (2020). DetR DB: A database of ionizing radiation resistance determinants. *Genes*, 11, 1477. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes11121477> [in English].
 8. Zhdanova, N.M., Zakharchenko, V.O., Vasylev's'ka, A.T. et al. (1994). Osoblyvosti skladu mikro-bioty v gruntakh zony vplyvu Chornobyl'skoyi AES [Peculiarities of the composition of microbiota in the soils of the zone affected by the Chernobyl NPP]. *Ukr. botan. zhurnal — Ukraine nerd journal*, 51 (2/3), 134–144 [in Ukrainian].
 9. Tugai, T.I., Zhdanova, N.N., Zheltonozhsky, V.A. et al. (2005). Zvetynyye reaktsii gribov, vydelennykh iz razlichnykh po urovnyu radioaktivnogo zagryazneniya pomeshcheniy ob'yekta «Ukrytiye», na deystviye ioniziruyushchego izlucheniya [Responses of fungi isolated from rooms of the Shelter object with different levels of radioactive contamination to the action of ionizing radiation]. *Zb. nauk. prats' Institutu yadernikh doslidzhen' — Coll. of science works of the Institute of Nuclear Research*, 128–136 [in Russian].
 10. Romanovskaya, V.A., Sokolov, I.G., Rokitko, P.V. & Chornaya, N.A. Z. (1998). Ekologicheskiye posledstviya radioaktivnogo zagryazneniya dlya pochvennykh bakteriy v 10 km zone ChAES [Ecological consequences of radioactive contamination for soil bacteria in the 10 km zone of the Chernobyl nuclear power plant]. *Mikrobiologiya — Microbiology*, 67 (2), 274–280 [in Russian].
 11. Yerusalimskaya, L.F. & Korchak, G.I. (1999). Osobennosti mikrobynykh tsezozov pochvy v usloviyakh dlitel'nogo khronicheskogo zagryazneniya radionuklidami [Features of soil microbial cenoses under conditions of long-term chronic contamination with radionuclides]. *Gigiyena naseleennykh mest — Hygiene of populated areas.*, 2 (1), 125–136 [in Russian].
 12. Gu, M., Zhang, Z., Wang, W. et al. (2014). The Effects of Radiation Pollution on the Population Diversities and Metabolic Characteristics of Soil Microorganisms. *Water Air Soil Pollut.*, 225, 2133. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2133-4> [in English].
 13. Ihara, H., Kumagai, A., Hori, T. et al. (2021). Direct comparison of bacterial communities in soils contaminated with different levels of radioactive cesium from the first Fukushima nuclear power plant accident. *Sci Total Environ.*, 756, 143844. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143844> [in English].
 14. Theodorakopoulos, N., Fevrier, L., Barakat, M. et al. (2017). Soil prokaryotic communities in Chernobyl waste disposal trench T22 are modulated by organic matter and radionuclide contamination. *FEMS Microbiology Ecology*, 93, fix079. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/fix079> [in English].
 15. Hoyos-Hernandez, C., Courbert, C., Simonucci, C. et al. (2019). Community structure and functional genes in radionuclide contaminated soils in Chernobyl and Fukushima. *FEMS Microbiol. Letters*, 366 (21), fnz180. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsle/fnz180> [in English].
 16. Gudkov, I.M., Volkohon, I.V., Illienko, V.V. et al. (2022). Impact of radioactive contamination of soils on the diversity of micropopulation and the transformation of organic substances. *Agricultural Science and Practice*, 9 (3), 3–15. DOI: <https://doi.org/10.15407/agrisp9.03.003> [in English].
 17. Smith, J. (2019). Field evidence of significant effects of radiation on wildlife at chronic low dose rates is weak and often misleading. A comment on «Is non-human species radiosensitivity in the lab a good indicator of that in the field? Making the comparison more robust» by Beaugelin-Seiller et al. *J. Environ. Radioact.*, 105895. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.01.007> [in English].
 18. Beresford, N.A., Horemans, N., Raines, K.E. et al. (2019). Towards solving a scientific controversy — The effects of ionising radiation on the environment. *J. Environ. Radioactivity*, 106033. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106033> [in English].
 19. Gudkov, I.M. & Lazarev, M.M. (2018). Problemy reabilitatsiyi ta povertannya do vykorystannya zabrudnenykh radionuklidamy gruntiv [Problems of rehabilitation and return to use of soil contaminated with radionuclides]. *Ahrokhimiya i gruntovnavstvo. Spets-vypusk — Agrochemistry and soil science. Special issue*, 83–91 [in Ukrainian].
 20. Volkogon, V.V., Nadkernychna, O.V., Tokmakova, L.M. et al. (2010). *Ekspyrymental'na gruntova mikrobiologiya [Experimental soil microbiology]*. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
 21. Hardy, R.W.F., Holsten, R.D., Jackson, E.K. & Burns, R.C. (1968). Application of the acetylene-ethylene assay for N₂-fixation: laboratory and field evolution. *Plant Physiol.*, 43 (8), 1185–1207 [in English].
 22. Bilen, S., Turan, V., Amaresan, N., Patel, P. & Amin, D. (Eds.). (2022). *Enzymatic Analyses in Soils. Practical Handbook on Agricultural Microbiology. Springer Protocols Handbooks*. Humana, New York, NY. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1724-3_50 [in English].
 23. Lavrentyeva, G.V., Zaharova, V.R., Mirzeabasov, O.A. & Synzynys, B.I. (2017). Influence of Radioactive Contamination of the Sr-90 Terrestrial Ecosystems on the Enzymatic Activity of the Soil. *Future of atomic energy — AtomFuture 2017: XIII International Youth Scientific and Practical Conference*. (pp. 137–142). DOI: <https://doi.org/10.18502/keg.v3i3.1613> [in English].
 24. Miller, D.R., Glasbrook, A.D., Mullen, B.M. et al. (1980). Predskazaniye vyzhivayemosti bakteriy pri UF-oblucheniі [Prediction of bacterial survival under UV irradiation]. *Zhiznesposobnost' kletok, obluchennykh v malykh dozakh: teoreticheskiye i klinicheskiye aspekty [Viability of cells irradiated in low doses: theoretical and clinical aspects]*. (pp. 157–165). Moskva: Meditsina [in Russian].

Стаття надійшла до редакції журналу 15.01.2024

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВЕДЕННЯ ОРГАНІЧНОГО ХМЕЛЯРСТВА

О.П. Стецюк, Л.П. Кириченко, В.В. Любченко,
І.П. Штанько, В.І. Ратошнюк, Т.М. Ратошнюк

Інститут сільського господарства Полісся НААН (м. Житомир, Україна)

e-mail: alex.stecyuk@ukr.net; ORCID: 0000-0001-8872-537X

e-mail: lkyrych@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8604-2524

e-mail: vladovich70@ukr.net; ORCID: 0000-000-7558-8054

e-mail: shtanko_hop@meta.ua; ORCID: 0000-0001-7847-0772

e-mail: viktor.ratoshnyuk@ukr.net; ORCID: 0000-0001-6937-7541

e-mail: viktor.ratoshnyuk@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1097-0874

Застосування органічних технологій вирощування хмелю дає можливість: зменшити антропогенне навантаження на екосистему хмільника, підтримуючи стабільну продуктивність, прискорити природний процес ґрунтовідродження, а за продуктивністю одержаної органічної хмелесировини наблизитися до традиційної технології. Розрахунок економічної ефективності за весь період досліджень підтверджує високу рентабельність хмелю, вирощеного за органічними агротехнологіями, яка була в межах 38,7–67,3%, що в 1,6–2,8 рази перевищує рентабельність хмелесировини, отриманої за умов традиційної технології вирощування — 24,0%. З метою одержання органічної хмелесировини на дерново-підзолистих ґрунтах зони Полісся запропоновано технологічний процес вирощування хмелю, який базується на сидерації міжрядь хмеленасаджень пелюшко-вівсяною сумішкою у весняний період після обрізування підземних кореневих хмелю, внесенням дозволених за органічного виробництва фосфорних і калійних добрив у дозі $P_{100}K_{140}$ та застосуванням біологічної системи захисту рекомендованими препаратами. Аналіз п'ятирічних досліджень засвідчує, що стабільним без змін залишився гумус, незалежно від агротехнологій вирощування хмелю, проте спостерігається незначне підкислення верхнього шару ґрунту, особливо на варіанті загальноприйнятої технології (від рН 5,9 до рН 5,4), що, ймовірно, пов'язано з підкисленням ґрунту за рахунок щорічного триразового внесення аміачної селітри. Досліджено, що на неодобренному фоні знижувався вміст легкодірлизованого азоту на 32%, рухомих форм фосфору на 13, обмінного калію на 37%.

Ключові слова: система удобрення, сидерат, ґрунт, альфа-кислоти.

ВСТУП

Антропогенне і техногенне навантаження на навколишнє природне середовище в Україні у кілька разів перевищує відповідні показники у розвинутих країнах світу. Застосування еколого-безпечних агротехнологій у виробництві якісних харчових продуктів, зокрема зумовлено вимогами ЄС, спонукає вчених-аграріїв до розроблення теоретичних та інноваційно-технологічних засад органічного виробництва, що, своєю чергою, відіграє значну роль у формуванні продовольчої безпеки держави [1]. Останніми роками, в Україні розпочато рух за

виробництво органічної продукції [2], що стосується лише окремих продуктів рослинного і тваринного походження. Щодо питань технологічного процесу вирощування органічного хмелю в Україні є маловивченим, адже він не був предметом досліджень вітчизняних учених.

Соціально-економічна складова цього дослідження полягає у покращанні екологічної ситуації в регіоні вирощування хмелю, зокрема зниження забрудненості ґрунтових вод у 1,5–2 рази, виготовлення якісного (органічного) пива на основі шишок хмелю. Відомо, що останні, вирощені на основі органічного виробництва, більш затребувані для парфумерних та медичних

цілей. Економічна складова цього дослідження включає: забезпеченість робочими місцями території, придатних для продукування органічного хмелярства та економію до 30–40% добрив на одиницю площі. Це свідчить, що ринок органічного хмелю зростатиме на 3–5% щороку, а його ціна порівняно зі звичайним, у 2–3 рази.

Ідея органічного виробництва (землеробства) (Organic Farming) полягає у повній відмові від застосування ГМО, антибіотиків, отрутохімікатів та синтетичних мінеральних добрив, що зумовлює підвищення природної біологічної активності у ґрунті, відновлення балансу поживних речовин. Також підсилюються відновлювальні властивості, нормалізується робота живих організмів, відбувається стабілізація гумусу, і як результат — поліпшення якісних показників сільськогосподарських культур [3].

Результатом органічного виробництва є екологічно безпечна продукція, вільна від ГМО та невластивих харчовим продуктам хімічних елементів. Ідея органічного землеробства є поширеною також у багатьох країнах Європи, зокрема Польщі, Чехії, Німеччини.

Вирощування органічного хмелю в Україні пов'язано з низкою правових та фінансово-економічних проблем, які поступово знаходять своє вирішення. Однак організаційно-технологічна складова все ще потребує дослідження. Це, насамперед, відсутність фермерських господарств, які комплексно займаються виробництвом органічної продукції. Також не розв'язаними є завдання біологічного захисту хмелю, компенсації органічної речовини (дефіцит «органічного перегною»), азоту, фосфору та калію природного походження. Однією з основних проблем є відсутність технології вирощування, адаптованої до місцевих ґрунтово-кліматичних умов. Завдання технологічного процесу ведення органічного хмелярства в Україні досліджується вперше авторами цієї статті, відповідно вітчизняні публікації також зустрічаються лише у наукових роботах вказаного авторського колективу.

Мета досліджень полягає у розробленні елементів технологічного процесу вирощування хмелю за умови ведення органічного хмелярства.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Виробництво органічних продуктів у світі користується дедалі більшою поширеністю. Згідно зі статистичними даними FiBL-IFOAM [4], у 2021 р. площа земельних угідь, зайнятих під виробництво органічної продукції в світі, зросла від 11 млн га у 1999 р. до 72,3 млн га у 2019 р., що становить 1,5 відсотка від усіх аграрних угідь. Відомо, що 187 країн світу є державами з органічною активністю. В Україні площа земель, зайнятих під органічне виробництво, від 189,5 тис. га в 2014 р., збільшилась до 468,0 тис. га в 2019 р. Зростаюча кількість органічних ферм, створених останніми роками, показують потенціал України як активного органічного виробника [5; 6].

Формування та розвиток системи державної підтримки органічного землеробства є необхідною умовою для реалізації можливості виходу на міжнародний ринок та стрімкого розвитку виробництва органічної продукції в Україні [7]. Для цього достатньо скористатися досвідом країн, які за рівнем розвитку галузі більш досвідчені, де система державної підтримки допомагає розвивати органічне землеробство без великих ризиків для виробника [8].

Виробництво хмелю є досить ефективним у багатьох регіонах світу, географія його постійно поширюється [9–12]. Дедалі повсюдним стає виробництво органічного хмелю, ця продукція користується попитом у крафтових виробників пива та інших галузях. Більшість органічних хмелярських ферм розташовано в США та Канаді [13]. Культивується органічний хміль і в Європі, зокрема, в Чехії, де забезпечується державною підтримкою [14].

Одним із важливих завдань за культивування органічного хмелю є необхідність забезпечення рослини органічним перегноем, виробництво якого, зі свого боку, потребує

ведення органічного тваринництва, що значно ускладнює процес. За даними Горба О.О. [15], за вирощування сівозмінних органічних культур вітчизняні вчені як відновлюване джерело енергії в органічному землеробстві використовують сидерати. В наших дослідженнях також підтверджується ефективність сидерації міжрядь хмеленасаджень, особливо пелюшко-вівсяною сумішкою, коли продуктивність шишок хмелю досягає рівня застосування традиційного перегнуто.

Наступним завданням було захист рослин від хвороб та шкідників, оскільки хміль потребує за період вегетації до 7–9 обробіток хімічними препаратами. Біологічну систему захисту, яку ми застосували і рекомендовано в органічному виробництві, засвідчує, що технічна ефективність дії біологічних препаратів захисту на хмеленасадженнях досягала 70–85% (70% для захисту від хвороб і 85% проти шкідників), що на 5–10% нижче, ніж за загальноприйнятої системи захисту з використанням хімічних препаратів. На подібну тенденцію щодо ефективності застосування біопрепаратів за органічного вирощування хмелю вказують і зарубіжні вчені Solarska E., Sosnowska B. [16].

Хміль як біологічний об'єкт для реалізації генетичного потенціалу в процесі життєдіяльності потребує певних агрокліматичних і ґрунтових умов. Зокрема, для його росту і розвитку найбільш сприятлива температура у межах 20–30°C (за достатньої вологозабезпеченості). До того ж оптимальна середньорічна температура повітря сягає від 7,5 до 8,5°C, а сума активних температур наближається до 3000°C (від 2500 до 2900°C).

В останні десятиріччя спостерігається загальне потепління клімату з одночасним посиленням його контрастності. Врожайність та якість хмелю значно потерпає від посухи [17–19]. В регіоні Полісся також почастішала тривалість періодів як надмірного зволоження, так і нетипових посушливих днів.

Циклічні зміни клімату — чергування прохолодно-вологих і тепло-сухих періодів,

є закономірними. Сучасна тепло-суха фаза впливає на коливання температури в бік збільшення, а опадів — у бік зменшення.

Що стосується опадів, то хміль — це культура, що потребує 500–600 мм на рік за умови їх рівномірного розподілу по місяцях і величини відносної вологості повітря 69–76%.

Хміль — рослина короткого дня, потребує близько 1600 год сонячної радіації.

Важливе значення мають і вітри регіону, вони мають бути помірними, без сильних поривів, щоб створювати оптимальний мікроклімат у рядах насаджень.

Хміль має розвинену кореневу систему [20], тому, крім кліматичних ресурсів, важливе значення має тип ґрунту, на якому культура вирощується. Найсприятливішими для вирощування хмелю є родючі, легкі за гранулометричним складом ґрунти, достатньо зволожені, проте без близького (не більше 2 м) залягання ґрунтових вод. До них віднесено дерново-підзолисті, сірі лісові, вилугувані чорноземи, супіщані й легкосуглинкові зі слабо ущільненим підґрунтям та слабокислою або близькою до нейтральної реакцією ґрунтового розчину (рН 5,5–6,5).

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методи досліджень — польові досліді, лабораторні й метеорологічні дослідження, статистичні методи аналізу.

Органічні добрива — перегній, сидеральні культури. Природні мінеральні добрива, дозволені за органічного землеробства — сульфат калію 50% та фосфоритне борошно 25%. Традиційні хімічні мінеральні добрива: аміачна селітра 34%; суперфосфат 20; калій хлористий 60% (застосовано за традиційної загальноприйнятої технології вирощування хмелю — вар. 2). Норму внесення органічних та мінеральних добрив під рослини хмелю встановлено з урахуванням вмісту у ґрунті органічної речовини, мінерального азоту і елементів живлення на програмований урожай.

Як сидеральні культури, у міжряддях хмелю, залежно від варіантів висіяні: редь-

ка олійна, люпин, пелюшко-вівсяна сумішка.

Агротехніка загальноприйнята згідно з технологічною картою, крім чинників, що поставлені на вивчення.

1. ЗТ* (без добрив, чорний пар) — абсолютний контроль.
2. ЗТ* (гній 40 т/га + $N_{120}P_{100}K_{140}$, чорний пар) — контроль.
3. ОТ (гній 40 т/га + люпин + $P_{100}K_{140}$).
4. ОТ (люпин + $P_{100}K_{140}$).
5. ОТ (олійна редька + $P_{100}K_{140}$).
6. ОТ (пелюшка з підсівом вівса + $P_{100}K_{140}$).

* ЗТ — варіанти загальноприйнятої технології, ОТ — варіанти органічної технології.

Закладання дослідів проведено на плантації № 212 ІСГП НААН. Сорт хмелю Заграва. Розмір дослідної ділянки (варіанта) — 30 м², облікової — 24 м². Схема садіння рослин 3×1 м. Повторність дослідів — чотириразова. Ґрунт — дерново-підзолистий, супіщаний. Шість (6) варіантів дослідів розміщено систематично, двома блоками в чотирьох повтореннях. Блок 1 включає два повних набори варіантів; блок 2 включає два повних набори варіантів.

Для агрохімічної оцінки ґрунту перед закладанням відібрано зразки з двох горизонтів: 0–20; 21–40 см. У період вегетації відмічаються дати настання основних фаз розвитку та пошкодження рослин шкідниками й хворобами по варіантах дослідів. В період збирання врожаю відбирають зразки ґрунту з двох горизонтів кожного варіанта для агрохімічного аналізу. В цей самий період відбираються зразки шишок по варіантах дослідів для визначення їх якості.

У зразках шишок передбачається визначення вмісту альфа-кислот кондуктометричним методом згідно з ДСТУ 4099:2009 «ХМІЛЬ. Правила відбирання проб та методи випробування».

Проведено моніторинг запасів продуктивної вологи в ґрунті впродовж вегетаційного періоду рослин хмелю.

У зразках ґрунту визначено такі агрохімічні показники: гумус — за Тюрнімом (пе-

ред закладанням дослідів, перед черговим внесенням органічних добрив); органічна речовина — методом спалювання (перед закладанням дослідів, перед черговим внесенням органічних добрив); рН_{сол.} та гідролітична кислотність — потенціометрично; азот лужногідролізований — за Корнфілдом; фосфор та калій — методом Кірсанова.

Здійснено моніторинг метеорологічних даних погодно-кліматичних умов агроландшафту хмеленасаджень за допомогою метеостанції Vantage Pro 2.

Статистичну обробку даних виконано за методом Доспехова Б.А. згідно з Методикою польового дослідів з основами статистичної обробки результатів досліджень.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Програмою досліджень передбачалося оцінити якісні зміни ґрунту щодо застосування традиційної та органічних технологій за п'ятирічний період проведення польових дослідів.

Перед закладанням дослідів (2016 р.) агрохімічні показники ґрунту, одержані в процесі аналітичних досліджень засвідчують, що гумус у 0–20 см шарі становить 0,9–1,0%, у 20–40 см шарі — 0,1–0,2%, що є типовим для дерново-підзолистого ґрунту (табл. 1).

Кислотність коливається в межах рН 5,4–6,1, тобто реакція слабокисла, сприятлива для вирощування культури хміль [21]. Основні показники вмісту елементів живлення, як для хмелеплантації, свідчать про середню забезпеченість рухомим фосфором (295–420 мг/кг) і низьку обмінним калієм (70–105 мг/кг).

Після завершення досліджень було відібрано та проаналізовано зразки ґрунту щодо змін основних якісних показників (табл. 2).

Аналізуючи одержані агрохімічні показники ґрунту після п'яти років досліджень, можна стверджувати, що залишився стабільним без змін гумус, незалежно від агротехнологій вирощування хмелю.

Таблиця 1. Агрохімічні показники ґрунту пл. № 212, 2016 р.
(перед закладанням дослідю)

№ ряду/ в-та	Шар, см	Гумус, %	рН _{сол.}	Нг	S	V, %	N л-гідр.	P ₂ O ₅	K ₂ O
				м-екв / 100 г					
2/1	0–20	0,90	5,9	0,55	3,8	87,4	46	420	92
	20–40	0,10	5,4	0,30	3,0	90,9	37	305	71
2/2	0–20	0,90	5,9	0,56	3,8	87,2	46	418	90
	20–40	0,10	5,5	0,32	3,0	90,4	36	300	70
4/3	0–20	1,00	6,0	0,49	4,0	89,1	49	409	103
	20–40	0,20	5,5	0,29	3,2	91,7	39	300	78
4/4	0–20	1,00	6,1	0,50	3,9	88,6	47	415	105
	20–40	0,20	5,4	0,32	3,1	90,6	36	300	77
6/5	0–20	0,90	6,0	0,52	3,9	88,2	50	412	101
	20–40	0,20	5,5	0,30	3,0	90,9	39	298	75
6/6	0–20	0,90	6,0	0,54	4,0	88,1	49	410	100
	20–40	0,20	5,4	0,31	3,0	90,6	39	295	78

Таблиця 2. Агрохімічні показники ґрунту пл. № 212, 2020 р.
(після завершення досліджень)

№ ряду/ в-та	Шар, см	Гумус, %	рН _{сол.}	Нг	S	V, %	N л-гідр.	P ₂ O ₅	K ₂ O
				м-екв / 100 г					
2/1	0–20	0,87	5,7	0,58	3,4	85,4	31	364	58
	20–40	0,10	5,2	0,32	2,6	89,0	20	261	43
2/2	0–20	0,92	5,4	0,56	4,0	87,7	58	444	102
	20–40	0,10	5,1	0,33	3,0	90,0	38	326	76
4/3	0–20	1,02	5,5	0,51	4,2	89,2	61	449	127
	20–40	0,20	5,7	0,30	3,1	93,6	45	334	91
4/4	0–20	1,01	6,0	0,54	3,8	87,5	51	403	96
	20–40	0,20	5,7	0,32	3,0	90,4	38	291	69
6/5	0–20	0,91	5,8	0,54	3,8	87,5	47	401	90
	20–40	0,20	5,7	0,32	3,0	90,4	33	276	64
6/6	0–20	1,91	6,0	0,55	3,8	87,3	51	395	90
	20–40	0,20	5,2	0,30	2,9	90,6	39	281	70

Також маємо незначне підкислення верхнього шару ґрунту, особливо на варіанті загальноприйнятої технології (від рН 5,9 до рН 5,4), що, ймовірно, пов'язано з підкисленням ґрунту за рахунок щорічного триразового внесення аміачної селітри.

Спостерігається зниження вмісту на неудобреному фоні легкогідролізованого азоту на 32%, рухомих форм фосфору на 13, а обмінного калію на 37%. Агротехнології, які передбачали внесення традиційних органічних добрив (загальноприйнята

і органічна) мали тенденцію до незначного накопичення вказаних елементів живлення, що, ймовірно, пов'язано з тим, що сорт хмелю Заграва не повністю використав свій потенціал продуктивності через неконструктивне надходження та використання вологи в період вегетації.

У процесі досліджень зафіксовано нерівномірність розподілу фосфору і калію у профілі ґрунту 0–20 см та 0–40 см шарах, незалежно від варіантів агротехнологій.

Органічні технології, де як основне джерело живлення виступали сидеральні культури з внесенням фосфорно-калійних добрив, практично стабілізували вміст азоту і фосфору в ґрунті, до того ж маємо тенденцію до зниження обмінного калію.

Інтенсивний технологічний процес вирощування хмелю традиційно передбачає утримання міжрядь хмеленасаджень у стані, вільному від рослинності за рахунок міжрядних культиваций. Це призводить до порушення природного процесу відтворення родючості ґрунту, зниження стабільності функціонування та продуктивності агробіоценозу.

Сучасні світові тенденції у землеробстві вимагають впровадження нових, біоекологічних агроприйомів, що зменшують навантаження на біоценоз. Серед них — мінімізація механічного та хімічного впливу на ґрунт аж до повної відмови від проведення більшості заходів, підтримання постійного

рослинного покриву на поверхні ґрунту [22].

У досліджуваній агроєкосистемі хмеленасаджень було проведено комплекс технологічних процесів із реалізації системи удобрення на основі сидерації та оптимізації окремих агротехнічних заходів згідно з розробленою схемою.

Зелене добриво є доступним, постійно відновлювальним джерелом органічної речовини [15; 23]. За результатами дослідження встановлено, що загортання в ґрунт 20–30 т/га зеленої маси сидератів забезпечує ефект, рівноцінний внесенню аналогічної кількості гною. До того ж витрати на вирощування сидеральної культури менші у 2,5 раза.

Урожайність зеленої маси сидеральних культур у міжряддях хмеленасаджень за 2017–2020 рр. вказує, що вони реалізують свій потенціал із накопичення зеленої маси лише за умови достатньої забезпеченості опадами за їх період вегетації. Сприятливими для росту та розвитку виявились 2019 і 2020 рр. В абсолютному відношенні перевага за пелюшко-вівсяною сумішкою — 252 ц/га, люпин зі внесенням перегною та тільки РК незначно відрізнявся за кількістю зеленої маси — 229 і 212 ц/га, найнижча урожайність у редьки олійної — 183 ц/га (табл. 3).

У середньому за чотири роки (табл. 4) досліджено, що застосування органічних

Таблиця 3. Урожайність зеленої маси сидеральних культур, висіяних у міжряддях хмеленасаджень, ц/га, 2017–2020 рр.

Варіанти	Урожайність, ц/га				Середнє
	2017	2018	2019	2020	
1. ЗТ (без добрив, чорний пар) — абсолютний контроль	Без сидератів				—
2. ЗТ (гній 40 т/га + N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀ , чорний пар) — контроль	Без сидератів				—
3. ОТ (гній 40 т/га + люпин + P ₁₀₀ K ₁₄₀)	220	159	259	277	229
4. ОТ (люпин + P ₁₀₀ K ₁₄₀)	202	147	244	256	212
5. ОТ (олійна редька + P ₁₀₀ K ₁₄₀)	173	115	216	226	183
6. ОТ (пелюшка з підсівом вівса + P ₁₀₀ K ₁₄₀)	243	182	279	302	252

Таблиця 4. Урожайність сухих шишок хмелю, 2017–2020 рр.

№ з/п	Варіанти досліджу	Урожайність, т/га					Відхилення від абс. контролю, ±		Відхилення від контролю, ±	
		2017	2018	2019	2020	середнє	т/га	%	т/га	%
1	ЗТ (без добрив, чорний пар) – абсолютний контроль	0,64	0,39	0,48	0,62	0,53	–	–	–	–
2	ЗТ (гній 40 т/га + N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀ , чорний пар) – контроль	1,16	1,03	1,20	1,57	1,24	+0,71	134	–	–
3	ОТ (гній 40 т/га + люпин + P ₁₀₀ K ₁₄₀)	1,08	1,14	1,29	1,59	1,28	+0,75	142	+0,04	6
4	ОТ (люпин + P ₁₀₀ K ₁₄₀)	0,93	0,91	1,06	1,35	1,06	+0,53	100	–0,18	25
5	ОТ (олійна редька + P ₁₀₀ K ₁₄₀)	0,87	0,83	0,98	1,29	0,99	0,46	87	–0,25	35
6	ОТ (пелюшка + овес + P ₁₀₀ K ₁₄₀)	0,99	0,96	1,11	1,44	1,13	+0,60	113	–0,11	16
НІР _{0,5} (т/га)		0,05	0,12	0,13	0,16					

агротехнологій, порівняно з традиційною, знижувало продуктивність хмеленасаджень на 16–35%, за винятком варіанта з системою удобрення (гній 40 т/га + люпин + P₁₀₀K₁₄₀). Така комбінація дала змогу отримати врожай шишок хмелю на рівні загальноприйнятої технології і навіть незначно, лише на 6%, перевищити її, що в межах похибки, проте вона є більш затратною.

Що стосується абсолютного контролю (без добрив), зниження продуктивності щодо традиційної технології спостерігалося на рівні 134%, а порівняно з органічними агротехнологіями в межах 87–142%, залежно від системи удобрення, тобто перевага удобрених варіантів була беззаперечною і дуже істотною.

Отже, ефективне функціонування агробіоценозу хмеленасаджень можна забезпечити застосуванням нових еколого-безпечних агроприймів, як утримання міжряд під сидеральними культурами. Агробіологічні способи утримання ґрунту дають можливість зменшити антропогенне навантаження на екосистему хмільника,

підтримуючи стабільну продуктивність, наближують природний процес ґрунтовідновлення, а за продуктивністю одержаної органічної хмелесировини подібні до традиційної технології.

У середньому за роки досліджень (табл. 5) впевнено можна стверджувати, що за якісним показником щодо вмісту альфа-кислот органічні агротехнології мають перевагу над традиційною, яка сягає від 1 до 8%, також удобрений фон містив більш високі показники вмісту альфа-кислот порівняно з загальноприйнятою системою удобрення.

Водночас за валовим збором альфа-кислот (табл. 6) лише органічний варіант із системою удобрення (гній 40 т/га + люпин + P₁₀₀K₁₄₀) переважав традиційну агротехнологію на 11% та варіант із сидерацією міжряд пелюшко-вівсяною сумішкою був на її рівні. Органічні технології, що базуються на застосуванні лише сидератів та фосфорно-калійних добрив (люпин + P₁₀₀K₁₄₀ й олійна редька + P₁₀₀K₁₄₀), то вони поступалася загальноприйнятій технології на 4,3% і 13,2% відповідно. Це пов'язано

Таблиця 5. Вміст альфа-кислот у шишках хмелю, 2017–2020 рр.

№ з/п	Варіанти досліджу	Вміст α -кислот, % (на абсолютно суху речовину)					Відхилення від абс. контролю, \pm		Відхилення від контролю, \pm	
		2017	2018	2019	2020	середнє	% 1	%	% 1	%
1	ЗТ (без добрив, чорний пар) – абсолютний контроль	10,0	9,6	9,4	9,2	9,6	–	–	–	–
2	ЗТ (гній 40 т/га + N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀ , чорний пар) – контроль	9,6	9,3	8,8	8,5	9,1	–0,5	5	–	–
3	ОТ (гній 40 т/га + люпин + P ₁₀₀ K ₁₄₀)	10,1	9,6	9,1	8,8	9,4	–0,2	2	+0,3	3
4	ОТ (люпин + P ₁₀₀ K ₁₄₀)	10,7	10,0	9,5	9,2	9,9	+0,3	3	+0,8	1
5	ОТ (олійна редька + P ₁₀₀ K ₁₄₀)	10,4	9,9	9,4	9,0	9,7	+0,1	1	+0,6	7
6	ОТ (пелюшка + овес + P ₁₀₀ K ₁₄₀)	10,6	10,0	9,5	9,2	9,8	+0,2	2	+0,7	8
НР _{0,5} (%)		0,4	0,4	0,4	0,3					

Таблиця 6. Валовий збір альфа-кислот, 2017–2020 рр.

№ в-та	Збір альфа-кислот по повторенням, кг/га (в розрахунку на 1 га)					Відхилення від абс. контролю, \pm		Відхилення від контролю, \pm	
	2017	2018	2019	2020	середнє	кг/га	%	кг/га	%
1	64,0	39,4	45,1	57,0	50,9	–	–	–	–
2	111,4	100,9	105,6	133,4	109,2	58,3	114,5	–	–
3	109,1	115,1	117,4	139,9	120,3	69,4	136,3	11,1	10
4	99,5	95,5	100,7	124,2	104,9	54,0	106,1	–4,3	4
5	90,5	86,3	92,1	116,1	96,0	45,1	88,6	–13,2	12
6	104,3	100,8	105,5	132,5	110,7	59,8	117,5	1,5	1

зі зниженням загальної врожайності шишок хмелю на цих варіантах, незважаючи на те, що відсотковий вміст альфа-кислот переважав за цим показником традиційну агротехнологію.

Вирощування хмелю є доволі трудомістким і вимагає порівняно з іншими сільськогосподарськими культурами більших капіталовкладень. Складність полягає в специфіці технології вирощування хмелю, що передбачає значну кількість виключно ручних робіт. Звідси великі затрати люд-

ської праці на одиницю площі хмільника і врожаю шишок хмелю.

Розрахунок економічної ефективності за весь період досліджень підтверджує високу рентабельність хмелю, вирощеного за органічними агротехнологіями, яка була в межах 38,7–67,3%, що в 1,6–2,8 раза перевищує рентабельність хмелесировини, отриманої за умов традиційної технології вирощування – 24,0%. Це пов'язано з тим, що реалізаційна ціна органічного хмелю була взята з розрахунку в 1,5 раза вища,

Таблиця 7. Економічна ефективність вирощування органічного хмелю (середнє за 2017–2020 рр.)

Показники	Варіанти					
	1	2	3	4	5	6
Урожайність, т/га (ст. вол.)	0,53	1,24	1,28	1,06	0,99	1,13
Вміст альфа-кислот, % а.с.р.	9,6	9,1	9,4	9,9	9,7	9,8
Збір альфа-кислот, кг/га	50,9	109,2	120,3	104,9	96,0	110,7
Всього витрат на виробництво, тис. грн/га	159,6	202,8	199,4	188,3	186,0	189,3
Реалізаційна ціна, тис. грн/т	260,6	202,8	260,6	260,6	260,6	260,6
Вартість реалізованої продукції, тис. грн/га	138,1	250,4	333,6	276,2	258,0	294,5
Прибуток/збиток, тис. грн/га	-221,5	48,6	134,2	87,9	72,0	105,2
Рівень рентабельності, %	-13,5	24,0	67,3	46,7	38,7	55,6

ніж вирощеного за загальноприйнятою технологією (табл. 7).

Ефективне функціонування агробіоценозу органічних хмеленасаджень можна забезпечити шляхом оптимізації еколого-безпечних агроприйомів, які базуються на утриманні міжрядь під сидеральними культурами, біологічному захисті та ґрунтозахисному обробітку.

Застосування органічних технологій вирощування хмелю дає змогу: зменшити антропогенне навантаження на екосистему хмільника, прискорити природний процес ґрунтовідновлення, а за продуктивністю одержаної органічної хмелесировини наблизитися до традиційної технології; поліпшити якісні характеристики здоров'я ґрунту, рослини та хмелепродукції для використання у пивоварінні, фармакології, медицині й хлібопеченні.

ВИСНОВКИ

Аналіз п'ятирічних досліджень свідчить, що в ґрунті стабільним без змін залишився гумус, не залежно від агротехнологій вирощування хмелю, проте спостерігається незначне підкислення верхнього шару ґрунту, особливо в варіанті загальноприйнятої технології (від рН 5,9 до рН 5,4), це пов'язано зі щорічним триразовим внесенням аміачної селітри; відмічається зниженню вмісту на неудобреному фоні легкогідролізованого азоту на 32%, рухомих

форм фосфору на 13, а обмінного калію на 37%.

Органічні технології, де як основне джерело живлення виступали сидеральні культури зі внесенням фосфорно-калійних добрив, стабілізують вміст азоту і фосфору в ґрунті та знижують вміст обмінного калію.

Застосування органічних агротехнологій, порівняно з традиційною, зменшує продуктивність хмеленасаджень на 16–35%, за винятком технології з системою удобрення органічним перегноем у поєднанні з сидерацією міжрядь люпином та внесенням фосфорно-калійних добрив, дозволених за органічного виробництва, яка є по продуктивності на рівні традиційної.

За якісним показником щодо вмісту альфа-кислот, органічні агротехнології переважають традиційну в межах 1–8%, також неудобрений фон характеризується більш високими показниками вмісту альфа-кислот порівняно з загальноприйнятою системою удобрення.

Розрахунок економічної ефективності підтверджує високу рентабельність хмелю, вирощеного за органічними агротехнологіями, яка була в межах 38,7–67,3%, що в 1,6–2,8 раза перевищує рентабельність хмелесировини, отриманої за умов традиційної технології вирощування – 24%.

З метою отримання органічної хмелесировини на дерново-підзолистих ґрунтах

зони Полісся запропоновано технологічний процес вирощування хмелю, який базується на сидерації міжрядь хмеленасаджень пелюшко-вівсяною сумішкою у весняний період після обрізування підземних ко-

ренивищ хмелю, внесенням розрахованих за органічного виробництва фосфорних і калійних добрив у дозі $P_{100}K_{140}$ та застосуванням біологічної системи захисту рекомендованими препаратами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сичевський М.П. Глобальна продовольча безпека та місце України в її досягненні. *Економіка АПК*. 2019. № 1. С. 6–17. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201901006>.
2. Милованов Є.В. Роль органічного громадського руху у розвитку органічного сектору аграрної галузі України. *Modern Economics*. 2019. № 14. С. 161–173. DOI: [https://doi.org/10.31521/modecon.V14\(2019\)-26](https://doi.org/10.31521/modecon.V14(2019)-26).
3. Aghasafari H., Karbasi A., Mohammadi H. et al. Determination of the best strategies for development of organic farming: A SWOT — Fuzzy Analytic Network Process approach. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 277. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124039>.
4. Willer H., Travníček J. and Meier C. The World of Organic agriculture. Statistics and emerging Trends 2021. FiBL & IFOAM. Organic international. 2021. 340 p. URL: <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1150-organic-world-2021.pdf>.
5. Виробництво органічної продукції рослинництва в межах сільських сельбизних територій / за ред. Камінський В.Ф., Корсун С.Г., Шкарівська Л.І. та ін. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2018. 166 с.
6. Гадзало Я.М., Камінський В.Ф. Наукові основи виробництва органічної продукції в Україні. Київ: Аграрна наука, 2016. 592 с. URL: <https://dspace.organic-platform.org/xmlui/handle/data/117>.
7. Ткаченко А.М., Буслаєва Н.Г., Камінська А.І. та ін. Рекомендації щодо управління земельними ресурсами аграрних підприємств-виробників органічної продукції в контексті розвитку сільських територій. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 24 с.
8. Łuczka W., Kalinowski S. and Shmygol N. Organic Farming Support Policy in a Sustainable Development Context: A Polish Case Study. *Energies*. 2021. Vol. 14. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14144208>.
9. Kerckhoven S., Meerten M. and Wellman C. The Dynamics of the Hops Industry. In book: New Developments in the Brewing Industry. 2020. P. 72–101. DOI: <https://doi.org/10.1093/oso/9780198854609.003.0004>.
10. Korpelainen H. and Pietiläinen M. Hop (*Humulus lupulus* L.): Traditional and Present Use, and Future Potential. *Econ*. 2021. Vol. 75. P. 302–322. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12231-021-09528-1>.
11. Kubes J. Geography of World Hop Production 1990–2019. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2021. Vol. 80(1). P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.18832/kp2012026>.
12. Rossini F., Virga G., Loreti P. et al. Hops (*Humulus lupulus* L.) as a Novel Multipurpose Crop for the Mediterranean Region of Europe: Challenges and Opportunities of Their Cultivation. *Agriculture*. 2021. Vol. 11 (6). 484 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11060484>.
13. Turner S.F., Benedict C.A., Darby H. et al. Challenges and Opportunities for Organic Hop Production in the United States. *Agronomy Journal*. 2011. Vol. 103 (6). P. 1645–1654. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0131>.
14. Jezek J., Vostrel J., Krofta K. et al. Organic hop farming in Czech Republic and worldwide. *Kvasny Prumysl*. 2012. Vol. 58. P. 294–302. DOI: <https://doi.org/10.18832/kp2012026>.
15. Горб О.О., Чайка Т.О. та Яснолоб І.О. Використання сидеральних культур як відновлюваного джерела енергії в органічному землеробстві. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2017. № 4. С. 38–41. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2017/04/08.pdf>.
16. Solarska E. and Sosnowska B. The impact of plant protection and fertilization on content of bioactive substances in organic hops. *Acta scientiarum Polonorum. Hortorum cultus*. 2015. Vol. 14 (3). P. 93–101. URL: https://www.researchgate.net/publication/281673196_The_impact_of_plant_protection_and_fertilization_on_content_of_bioactive_substances_in_organic_hops.
17. Kolenc Z., Vodnik D., Mandelc S. et al. Hop (*Humulus lupulus* L.) response mechanisms in drought stress: proteomic analysis with physiology. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2016. Vol. 105. P. 67–78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.03.026>.
18. Procházka P., Řehoř J., Vostřel J. et al. Use of botanicals to protect early stage growth of hop plants against Pseudo peronospora humuli. *Crop Protection*. 2022. Vol. 157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.105978>.
19. Donner P., Pokorný J., Ježek J. et al. Influence of weather conditions, irrigation and plant age on yield and alpha-acids content of Czech hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars. *Plant Soil Environ*. 2020. Vol. 66 (1). P. 41–46. DOI: <https://doi.org/10.17221/627/2019-PSE>.
20. Brant V., Krofta K., Kroulík M. et al. Distribution of root system of hop plants in hop gardens with regular rows cultivation. *Plant Soil Environ*. 2020. Vol. 66 (7). P. 317–326. DOI: <https://doi.org/10.17221/672/2019-PSE>.
21. Стецюк О.П., Кириченко Л.П. Dynamics of Main Power Elements in Variation Methods of Storage Between Rows of Hop Plants. *Агропромислове виробництво Полісся*. 2017. № 10. P. 80–83.

22. Lib L., Ning H., Liang D. et al. Composition of soil viral and bacterial communities after long-term tillage, fertilization, and cover cropping management. *Applied Soil Ecology*. 2022. Vol. 177. 104510. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104510>.
23. Vijaykumar R., Mehera B., Khare N. et al. Role of green manures in organic farming — A Review. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*. 2021. Vol. 8(8). P. 147–158. URL: <https://www.jetir.org/papers/JETIR2108148.pdf>.

REFERENCES

- Sychevskiy, M.P. (2019). Hlobalna prodovolcha bezpeka ta mistse Ukrainy v yii dosiahnenni [Global food security and Ukraine's place in its achievement]. *Ekonomika APK — Economy of agro-industrial complex*, 1, 6–19. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201901006> [in Ukrainian].
- Mylovanov, Ye.V. (2019). Rol orhanichnoho hromadskoho rukhu u rozvytku orhanichnoho sektoru ahrarynoi haluzi Ukrainy [The role of the organic social movement in the development of the organic sector of the agricultural sector of Ukraine]. *Modern Economics*, 14, 161–173. DOI: [https://doi.org/10.31521/modecon.V14\(2019\)-26](https://doi.org/10.31521/modecon.V14(2019)-26) [in Ukrainian].
- Khasafari, H., Karbasi, A. & Mohammadi, H. (2020). Determination of the best strategies for development of organic farming: A SWOT — Fuzzy Analytic Network Process approach. *Journal of Cleaner Production*, 277. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124039> [in English].
- Willer, H., Trávníček, J. & Meier, C. (2021). The World of Organic agriculture. Statistics and emerging Trends 2021. FiBL & IFOAM. Organic international. URL: <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1150-organic-world-2021.pdf> [in English].
- Kaminskyi, V.F., Korsun, S.H. & Shkarivska, L.I. (Eds.). (2018). *Vyrobnytstvo orhanichnoi produktsii roslynnytstva v mezhakh silskykh selbshchynykh terytorii [Production of organic products of crop production within rural agricultural areas]*. Vinnytsia: TOV «TVORY» [in Ukrainian].
- Hadzalo, Ya.M. & Kaminskyi, V.F. (2016). *Naukovi osnovy vyrobnytstva orhanichnoi produktsii v Ukraini [Scientific basis of production of organic products in Ukraine]*. Kyiv: Ahraryna nauka. URL: <https://dspace.organic-platform.org/xmlui/handle/data/117> [in Ukrainian].
- Tkachenko, A.M., Buslaieva, N.H. & Kaminska, A.I. (2020). *Rekomendatsii shchodo upravlinnia zemelnymy resursamy ahrarynykh pidpryemstv-vyrobnikiv orhanichnoi produktsii v konteksti rozvytku silskykh terytorii [Recommendations on the management of land resources of agricultural enterprises producing organic products in the context of the development of rural areas]*. Vinnytsia: TOV «TVORY» [in Ukrainian].
- Łuczka, W., Kalinowski, S. & Shmygol, N. (2021). Organic Farming Support Policy in a Sustainable Development Context: A Polish Case Study. *Energies*, 14. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14144208> [in English].
- Kerckhoven, S., Meerten, M. & Wellman, C. (2020). The Dynamics of the Hops Industry. In book: *New Developments in the Brewing Industry*. DOI: <https://doi.org/10.1093/oso/9780198854609.003.0004> [in English].
- Korpelainen, H. & Pietiläinen, M. (2021). Hop (*Humulus lupulus* L.): Traditional and Present Use, and Future Potential. *Econ*, 75, 302–322. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12231-021-09528-1> [in English].
- Kubes, J. (2021). Geography of World Hop Production 1990–2019. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 80 (1), 1–10. DOI: <https://doi.org/10.18832/kp2012026> [in English].
- Rossini, F., Virga, G. & Loreti, P. (2021). Hops (*Humulus lupulus* L.) as a Novel Multipurpose Crop for the Mediterranean Region of Europe: Challenges and Opportunities of Their Cultivation. *Agriculture*, 11 (6), 484. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11060484> [in English].
- Turner, S.F., Benedict, C.A. & Darby, H. (2011). Challenges and Opportunities for Organic Hop Production in the United States. *Agronomy Journal*, 103 (6), 1645–1654. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0131> [in English].
- Jezek, J., Vostrel, J. & Krofta, K. (2012). Organic hop farming in Czech Republic and worldwide. *Kvasny Prumysl*, 58, 294–302. DOI: <https://doi.org/10.18832/kp2012026> [in Czech].
- Horb, O.O., Chaika, T.O. & Yasnolob, I.O. (2017). Vykorystannia syderalnykh kultur yak vidnovliuvanoho dzherela enerhii v orhanichnomu zemlerobstvi [The use of sidereal crops as a renewable energy source in organic farming]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarynoi akademii — Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 4, 38–41. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2017/04/08.pdf> [in Ukrainian].
- Solarska, E. & Sosnowska, B. (2015). The impact of plant protection and fertilization on content of bioactive substances in organic hops. *Acta scientiarum Polonorum. Hortorum cultus*, 14 (3), 93–101. URL: https://www.researchgate.net/publication/281673196_The_impact_of_plant_protection_and_fertilization_on_content_of_bioactive_substances_in_organic_hops [in English].
- Kolenc, Z., Vodnik, D. & Mandelc, S. (2016). Hop (*Humulus lupulus* L.) response mechanisms in drought stress: proteomic analysis with physiology. *Plant Physiology and Biochemistry*, 105, 67–78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.03.026> [in English].
- Procházka, P., Řehoř, J. & Vostřel, J. (2022). Use of botanicals to protect early stage growth of hop plants against Pseudo peronospora humuli. *Crop Protection*, 157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.105978> [in English].
- Donner, P., Pokorný, J. & Ježek, J. (2020). Influence of weather conditions, irrigation and plant age on yield and alpha-acids content of Czech hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars. *Plant Soil Environ.*, 66 (1),

- 41–46. DOI: <https://doi.org/10.17221/627/2019-PSE> [in Czech].
20. Brant, V., Krofta, K. & Kroulík, M. (2020). Distribution of root system of hop plants in hop gardens with regular rows cultivation. *Plant Soil Environ.*, 66 (7), 317–326. DOI: <https://doi.org/10.17221/672/2019-PSE> [in English].
21. Stetsiuk, O.P. & Kyrychenko, L.P. (2017). Dynamics of Main Power Elements in Variation Methods of Storage Between Rows of Hop Plants. *Ahropromyslove vyrobnytstvo Polissia*, 10, 80–83 [in English].
22. Lib, L., Ning, H. & Liangc, D. (2022). Composition of soil viral and bacterial communities after long-term tillage, fertilization, and cover cropping management. *Applied Soil Ecology*, 177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104510> [in English].
23. Vijaykumar, R., Mehera, B. & Khare, N. (2021). Role of green manures in organic farming — A Review. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 8 (8), 147–158. URL: <https://www.jetir.org/papers/JETIR2108148.pdf> [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 29.01.2024

АГРОЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ (*GLYCINE MAX L.*) В УКРАЇНІ

Т.А. Забарна, В.В. Черешнюк

Вінницький національний аграрний університет (м. Вінниця, Україна)

e-mail: zabarna-tanja@ukr.net; ORCID: 0000-0002-6796-7625

e-mail: chereshnyk_vova@ukr.net; ORCID: 0000-0002-0048-2447

У статті висвітлено роль та значимість сої в Україні, як головної зернобобової культури сьогодення. Аналіз літературних джерел доводить, що культивування сої не лише забезпечує продовольчу безпеку держави, але вона постає, як екологічна складова за збереження родючості ґрунтів. Рослини сої беруть участь у азотному балансі ґрунтів, виступаючи водночас гарним попередником багатьох культур. Вони також позитивно впливають на фізичні, агрономічні й фізико-хімічні властивості ґрунтів, поліпшуючи водний та поживний режими. Сою можна вирощувати в основних, післязливних та післяукісних посівах. Окрім того, соя швидко адаптується під виробничі схеми органічного виробництва. Авторами охарактеризовано соєвий пояс в Україні та описано головні три зони вирощування сої. Завдяки аналізу літературних публікацій, підтверджено розв'язання проблеми достатнього виробництва повноцінного рослинного білка за рахунок постійного росту виробництва продовольчих ресурсів, передусім білково-олієвої сировини, основним джерелом яких є соя — одна з провідних культур світового землеробства. Останні декілька років площі посівів сої в Україні варіюють у межах 1,5–2,0 млн га, до того ж основними зонами вирощування є Лісостеп та Полісся. Значно менші площі посівів розташовані у Північному і Центральному Степу. У Південному Степу вирощування сої можливе лише за зрошуваних умов. Науковцями відмічено, що найбільш сприятливі для сої, метеорологічні умови характеризуються річною нормою опадів у межах 500–600 мм, з яких на вегетаційний період має припадати 250–400 мм, а у найбільш критичний по вологозабезпеченості період цвітіння — повний налив бобів — 180–200 мм. Одним із перспективним напрямів у вирощуванні сої є органічне землеробство. Наразі у світі близько 80% насіння сої виробляється за рахунок використання генетично модифікованого матеріалу. Тому важливо, задля екологізації виробництва сої використовувати новітні районовані сорти місцевої селекції, адже за рахунок цього можна сформувати власну базу органічного насіння та одночасно покращити екологічну складову за вирощування сої.

Ключові слова: агрофітоценоз, соєсіяння, продуктивність, сорт, азотофіксація, площі посіву.

ВСТУП

У світі соя (*Glycine max L.*) відома як важлива зернобобова культура. Жодна інша рослина в світі не може за такий короткий період часу — 4–5 міс. вегетації сформувати таку кількість білка і жиру з одиниці площі, як соя. Тому вона має право посідати провідні позиції серед інших сільськогосподарських культур у багатьох країнах світу, та користується попитом у переробній галузі.

У сучасних умовах розвитку аграрного сектору України, виробництво сої займає основні місця і постає ця культура, як важ-

лива високобілкова зернобобова культура. Особливо велику роль соя відіграє у біологізації землеробства, бере участь у азотному балансі ґрунтів, цим самим підвищує врожайність наступних культур сівозміни, відмінно впливає на фізичні, агрономічні й фізико-хімічні властивості ґрунтів, поліпшує водний та поживний режими.

Тому стабільне культивування *Glycine max L.* у регіонах України забезпечує люду не лише незамінним білком, але й має позитивний вплив на екологію навколишнього середовища.

Метою дослідження є здійснення аналізу тенденцій змін урожайності та площ

посівів в Україні та окреслення її значимості у землеробстві, а також оцінка агро-екологічного впливу сої на ґрунти.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

За останні роки не лише зросли площі посіву сої, але і збільшилась її врожайність. Дедалі частіше науковцями звертається увага на сою, з точки зору екології. Особливий інтерес становить процес азотофіксації сої.

Значна частина науковців зробила свій внесок у становлення соєсіяння в Україні. У різний час дослідженнями цієї культури займалися Іванів М.О., Петриченко В.Ф., Іванюк С.В., Господаренко Г.М., Мазур В.А., Заболотний Г.М., Бахмат О.М., Патица В.П., Маслак О.М., Дідора В.Г., Душко П.М. [1–10] та ін. Багато науковців, що досліджували культуру сої, свідчить про її нинішній розвиток та велике майбутнє не лише в Україні, але й у світі. Однак ще залишається достатня кількість питань, які потребують глибокого вивчення та дослідження, адже ще не повністю розкритий потенціал цієї культури. Поява нових сортів сої та глобальні зміни клімату дедалі більше актуалізують нові дослідження з цією культурою.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Сою — важлива стратегічна сільсько-господарська культура, в якій вбачають розв'язання проблеми забезпечення продовольством країни. За рахунок культивування сої, можна регулювати низку питань у землеробстві, від її виробництва залежить баланс білкового ресурсу, забезпечення рослинними жирами та й загалом підвищення врожайності багатьох інших культур, оскільки соя здатна в симбіозі з бульбочковими бактеріями забезпечувати ґрунт азотом. Її можна вирощувати в основних, післяжнивних та післякусісних посівах.

Варто відмітити, що протягом останніх 30-ти років вирощування сої, вона швидкими темпами зробила ривок від звичайної нішевої культури до ключової сільськогосподарської культури. Завдяки *Glycine max*

L. Україна швидко збільшила темпи вирощування білково-олієвих культур та значно зміцнила свої позиції на світовому ринку.

Згідно з даними Олександра Карпенка, від кінця 1990-х до 2015 рр. площі сої зросли вдесятеро — від 190 тис. до 2 млн га, з яких зібрали 4 млн т бобів, що одразу вивело на 9-те місце у світі в рейтингу 44 «соєвих» країн. Однак після ухвалення так званих «соєвих правок» 2017 р. почалося круте піке галузі: 2017 р. культура вирощувалася на 1 млн 970 тис. га, 2020 р. — на 1 млн 340 тис. га, 2021 р. — на 1 млн 270 тис. га. В той самий час у 2021 р. аграрії зібрали 3,33 млн т сої, що на 570 тис. т більше, ніж 2020 р., за цих обставин урожайність сягнула 2,64 т/га — найвищий показник за останні шість років. Фахівці це пояснюють сприятливими кліматичними умовами, підбором адаптованих сортів і запровадженням сучасних технологій [11].

У 2009–2010 рр. у нашій державі було перевершено мільйонну позначку з виробництва сої. Україна стала лідером серед країн колишнього СНД та ЄС. Сьогодні за обсягами виробництва сої також входить до чільної десятки передових європейських країн. Зростають і площі посівів під цією культурою. На думку вчених та агро-виробників, найбільш важливим комплексним показником швидкого поширення сої, є чинник, що поєднує індивідуальну продуктивність рослин, біоценозний чинник та умови довкілля [12; 13].

Потрапила до нас досліджувана культура із Китаю ще в XIX ст. з метою детальнішого вивчення наукою, але швидко була адаптована до умов навколишнього середовища та знайшла своє відображення у секторі сільського господарства України. І вже сьогодні вона є перспективною зернобобовою культурою із широким спектром її використання. Господарський інтерес сої насамперед проявляється у нас як зернофуражної культури, хоча використання її доволі різнобічне. Особливу цінність у сої відводять хімічному складу зерна, адже саме за рахунок нього вона має унікальність з огляду на можливість використання у різних галузях господарства [14].

Насіння *Glycine max* L. містить у своєму складі приблизно 35–45% білка, 19–23 жирів, 23–28% вуглеводів, до того ж насіння багате на мінеральні речовини, ферменти та вітаміни [15; 16]. Деякі науковці вказують, що саме рослинні жири сої мають перевагу над іншими і володіють високою поживністю, крім того, здатні легко перетравлюватися та відмінно засвоюються тваринами, що й окреслює їх користь у раціоні живлення [17–19].

Соя виділяється серед інших сільськогосподарських культур, значною чисельністю кількості продукції, виготовленої з її сировини. Із її насіння виготовляють різні аналоги м'ясних та молочних виробів, заміники яєчного порошку, кондитерські вироби, сири, консерви, соуси тощо. Крім цього у використанні дуже багатогранна, а також вона позитивно впливає на організм людини [20].

Через значний дефіцит білка у світовому господарстві, соя доволі сильно укріплює свої позиції на світовому ринку та стає дедалі затребуваною, оскільки нестача протеїну в раціонах тварин у сільському господарстві України становить 20–30%, або близько 1,5–1,8 млн т щороку. До того ж різке скорочення тваринницької галузі робить сою дедалі поширенішою для використання, під час заміни тваринницької продукції на рослинницьку. Тому й не дивно, що вона знайшла своє місце і в аграрному секторі України.

Для вирощування цієї культури в Україні сформувалися досить добрі умови, тому останні декілька років відмічається тенденція до варіювання площ посіву цієї культури на рівні 1,5–2,0 млн га. Як правило, основна частка (майже 85%) посівів в Україні припадає на зону Лісостепу та Полісся, де середня врожайність сої по цих регіонах знаходиться в межах 18,5–20,0 ц/га [21].

Тривалий час вирощування сої в Україні обмежувалося чинником використання малопродуктивних та нестійких до хвороб і шкідників сортів, проте завдяки значним успіхам, що було досягнуто в селекції, з'явилися нові високотехнологічні та

з високою продуктивністю сорти, добре адаптовані до наших умов навколишнього середовища. Саме рівень реалізації генетичного потенціалу сортів *Glycine max* L. певною мірою окреслюється технологією вирощування сої та ґрунтово-кліматичними умовами конкретної зони. Щоб отримати високопродуктивний агрофітоценоз сої, сортові ознаки стійкості та продуктивності мають бути оптимально поєднані з умовами навколишнього середовища, ґрунтовими умовами й вологозабезпеченням, не менш вагомим значенням відіграє і філогенетична складова цієї культури, а саме її азійське походження [22].

Соя доволі вимоглива культура до умов вирощування. Карта соєвого поясу України фактично включає всі регіони нашої держави, зокрема і незрошувані землі — в зоні Північного, Центрального і Південного Лісостепу та Північного і Центрального Степу і на зрошувальних — у Центральному і Південному Степу. Провідні спеціалісти зауважують, що соя може рости на різноманітних типах ґрунтів, забезпечуючи при цьому високі показники врожайності. Отже, можна виокремити своєрідний соєвий пояс на теренах нашої держави.

З огляду на природні умови, що сформувалися в Україні можна виділити три головних зони під час культивування сої.

Перша зона включає вирощування сої на незрошуваних землях (Вінницька, Черкаська, Хмельницька, Полтавська, Кіровоградська, Тернопільська, Закарпатська, Чернівецька та Київська обл.). Тут соя постійно забезпечує стабільні високі показники продуктивності цієї культури. Також до першої зони належать окремі райони із достатньою кількістю опадів, але з областей, які відносять до нестійкого зволоження. Насамперед, це північні регіони Одещини, Миколаївщини, Дніпропетровщини також достатньо зволожену частину Харківської і Запорізької обл.

Друга зона — зона Степів, або нестійке виробництво сої за умов нестабільного зволоження. До неї належать посушливі райони Одеської, Запорізької, Миколаївської, Донецької та Луганської обл.

До *третьої зони* відносять території, де культивують сою виключно за умов зрощення. Наприклад, Крим, Одещина, Запорізька та Херсонська обл., а також степові райони Донеччини, Луганщини і Дніпропетровщини [23; 24].

Низка вчених на чолі із Кириченком В.В. зазначають, що найбільш сприятливі для сої метеорологічні умови, які характеризуються річною нормою опадів у межах 500–600 мм, з яких на вегетаційний період має припадати 250–400 мм, а у найбільш критичний по вологозабезпеченості період цвітіння — повний налив бобів — 180–200 мм [25; 26].

Сою в сівозміні відіграє надзвичайно важливу роль, насамперед, це екологічне джерело біологічно фіксованого азоту, що впливає на родючість ґрунтів [27]. Дослідженнями науковців доведено, що за вирощування сої в сівозміні затрати на її вирощування приблизно у 1,5–2 рази нижчі, ніж на пшеницю озиму, або ж буряки цукрові, які потребують певну кількість пестицидів упродовж вегетаційного періоду [28].

Glycine max L. демонструє відмінну здатність засвоювати атмосферний азот за рахунок симбіозу з бульбочковими бактеріями — азотофіксаторами і цим самим вона може підвищувати родючість ґрунту та виступає гарним попередником для наступних культур сівозміні. За висновками науковців на чолі з Цехмейструком М.Г. у середньому на одному гектарі у ґрунті залишається після збирання сої в межах 40–60 кг азоту, до 25 фосфору та майже 30–40 кг калію та низки мікроелементів. До аналогічних висновків дійшли і зарубіжні науковці [29; 30].

Вкрай важливим аспектом, який враховують аграрії за вирощування будь-якої сільськогосподарської культури це фізичний стан ґрунту. Саме після вирощування сої ґрунт залишається досить пористим та забезпечений азотом, що дає змогу застосовувати у наступному етапі сівозміні культури, які потребують цього елемента. Одним із таких варіантів є культивування зернових із глибоко проникаючими корін-

нями, що допоможе їм ефективно адсорбувати азот із ґрунту [31].

Взагалі підбір попередників є ключовим із переліку питань технології вирощування будь-якої культури, зокрема й сої. Розглядаючи вплив попередника у сівозміні можна звернути увагу на окрему частину чинників, наприклад: виснаження поживних елементів та накопичення вологи у ґрунті, засміченість бур'янами, розповсюдження небезпечних хвороб і шкідників, що, своєю чергою, відзначається на врожайності та якості продукції.

Ще одним позитивним та екологічно сприятливим моментом у технології культивування сої — вирощування її по два-три роки на одному полі. У більшості випадків за інтенсивної технології вирощування, такі дії, не спричиняють зниження її продуктивності, поліпшуючи при цьому структуру ґрунту та зберігаючи кількість азоту в ньому. Залишаючи у ґрунті добре розвинену кореневу систему з бульбочковими бактеріями, вона сприяє накопиченню азоту (60–80 кг/га), покращанню структури та родючості ґрунту. Сою використовує важкодоступні поживні речовини з нижніх шарів ґрунту і включає їх у кругообіг живлення наступних культур [32].

За повідомленнями асоціації «Дунайська соя», використання у сівозміні бобових культур, зокрема й сої має зменшити тиск сільського господарства на ґрунти, воду та інші природні ресурси. Адже давно відомо, що вирощування азотофіксуючих бобових рослин у посівах впливає і на ґрунти, і на навколишнє середовище.

Отже, розглянемо основні моменти впливу сої на ґрунти. Насамперед, соя, як азотофіксувальна культура, зменшує загальну потребу в мінеральних азотних добривах, а звідси впливає зменшення обсягів вуглецевих викидів від сільськогосподарського виробництва; далі висівання сої у межах сівозміні перериває життєві цикли проблемних бур'янів, шкідників та хвороб, допомагаючи зменшити загальну потребу в пестицидах; і насамкінець, соя є сприятливим попередником у сівозміні (наприклад, для пшениці озимої), під-

тримуючи здоровий розвиток рослин та зменшуючи потребу в енергоємній обробці ґрунту [33].

Також низка вчених зазначають, що соя, на відміну від сояшника, не виснажує ґрунт, під час її культивування. Також її посіви, які виконані по контуру, здатні послабити водні ерозійні процеси на невеликих схилах та цим самим зупинити дефляцію ґрунтів, що є вкрай важливим моментом у збереженні верхнього родючого шару ґрунту. Поєднання в агрофітоценозах сої до двох важливих процесів фотосинтезу і біологічної азотфіксації дає можливість рослинам інтенсивно синтезувати майже всі важливі органічні сполуки. Опалі листки та залишки стебел сої слугують відмінною органічною масою, яка поступово розкладається в ґрунті, завдяки чому ця культура залишає ґрунт у пухкому стані, поліпшуючи його фізичні якості, забезпечує краще проникнення й нагромадження вологи і мінімізує появу шкідників та хвороб в агрофітоценозах [34].

Як відомо, формування природного землеробства базується на насиченні сівозміни (25% і більше) бобовими культурами, зокрема й соєю, або ж органічними добривами, що дає змогу інтенсифікувати природні процеси біологічної фіксації азоту повітря, забезпечує іммобілізацію важкорозчинних фосфатів у ґрунтах. Також істотно зменшується застосування мінеральних і, насамперед, азотних добрив та багатьох інших хімічних меліорантів [35].

Органічне землеробство — ще один доволі перспективний напрям у вирощуванні сої. На сьогодні у світі майже 80% насіння сої виробляється за рахунок використання генетично модифікованого матеріалу. Тому дуже важливо, щоб задля екологізації виробництва сої використовували елітні районовані сорти місцевої селекції, адже за рахунок цього можна сформувати власну базу органічного насіння та одночасно покращити екологічну складову за вирощування сої [36].

За висновками науковців, соя і надалі залишається однією з головних культур сучасного інтенсивного землеробства. Вона,

з огляду на тенденції розвитку світової економіки, потребуватиме більшої уваги за подолання продовольчих проблем. Під час формування експортного потенціалу України щодо сої та продуктів її переробки варто наголошувати на інтенсивних технологіях та працювати над підвищенням урожайності цієї культури.

Вчені відмічають, що розширення площ посівів *Glycine max* L. у зоні Степу України безпосередньо залежить від розвитку умов зрошення. Інноваційні наукові розробки можуть забезпечити показники врожайності сої на рівні 3,5–4,5 т/га. Також певним резервом збільшення виробництва сої за зрошення є запровадження післяжнивних посівів. Зміни кліматичних умов степової зони спричиняють до змін умов вегетації, що зумовлює потребу розроблення певних елементів технології її вирощування з урахуванням сучасних вимог ресурсозаощадження, екологічної безпеки та біологізації системи землеробства. В той самий час ринкова кон'юнктура, ціна й попит на зерно сої, сучасний сортовий склад сої та структура зрошуваних сівозмін сприяють її вирощуванню в проміжних посівах і зумовлюють практичне значення таких досліджень [37].

ВИСНОВКИ

Експорт соєвих бобів з України становить приблизно 60–70% від загального виробництва. Основними країнами-експортерами сої є Туреччина, Іран, Єгипет, Італія, Греція, Ліван, значну частку врожаю сої поставляють зернотрейдери у країни Західної Європи, Близького і Далекого Сходу. Решта соєвих бобів залишається на власні потреби. Отже, соя та продукти її переробки є надзвичайно важливими для економіки України, адже стабільно забезпечують значну частину валютних надходжень. Однак подальше збільшення об'ємів виробництва *Glycine max* L. потребує зміни індустріальних технологій та зниження інтенсивної хімізації в агрокомплексі, а саме максимально можливе їх наближення до природних умов вирощування, тобто органічне вирощування.

ЛІТЕРАТУРА

- Іванів М.О., Ганжа В.В. Біометричні показники та урожайність сортів сої різних груп стиглості залежно від елементів технології в умовах краплинного зрошення. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 117. С. 54–64. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.8>.
- Петриченко В.Ф., Лихочвор В.В., Іванюк С.В. та ін. Соя: моногр. Вінниця: Діло, 2016. 392 с.
- Господаренко Г.М., Бахмат О.М., Прокопчук І.В., Вишнеvsька Л.В. Складові технології вирощування сої: навч. посібн. / за ред. Г.М. Господаренка. Умань: Сочінський М.М., 2019. 205 с.
- Мазур В.А., Дідур І.М., Пандирева Г.В. Обґрунтування адаптивної сортової технології вирощування зернобобових культур в Правобережному Лісостепу України. *Сільське господарство та лісництво*. 2020. Вип. № 18. С. 5–17.
- Заболотний Г.М. Вплив мінеральних добрив та мікродобрив на формування індивідуальної продуктивності рослин сої в умовах Лісостепу Правобережного. *Агробіологія*. 2015. Вип. 2 (121). С. 130–133.
- Бахмат О.М. Агроєкологічні умови вирощування сої на насіння в умовах Лісостепу вирощування сої на зрошуваних землях Півдня України. *Пропозиція*. 2015. № 2. С. 52–57.
- Маслак О. Прибуткова соя. *The Ukrainian Farmer*. Квітень, 2020. С. 50–51.
- Патика В.П., Гнатюк Т.Т., Булець Н.М., Кириленко Л.В. Біологічний азот у системі землеробства. *Землеробство*. 2015. Вип. 2. С. 12–20.
- Дідора В.Г. Симбіотична продуктивність сої залежно від інокуляції насіння та удобрення. *Наукові горизонти*. 2018. № 1 (64). С. 23–28.
- Душко П.М. Оцінювання удобрень сої в технології її вирощування за адаптивним потенціалом. *Агроєкологічний журнал*. 2017. № 2. С. 205–210. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220307>.
- Карпенко О. Соя готується до реваншу. URL: <https://www.zerno-ua.com/journals/2022/%E2%84%9612-2022/soya-gotu%D1%94tsya-do-revanshu-2/2023>.
- Молдован Ж.А., Молдован В.Г. Оцінка конкурентоздатності допосівної обробки насіння та позакоренових підживлень сої за різних рівнів мінерального живлення. *Кормовиробництво*. 2022. № 94. С. 27–36. URL: <https://doi.org/10.31073/kormovirobnnytstvo202294-03>.
- Черенков А.В., Шевченко М.С. Стратегія виробництва зернобобових культур і сої в Степу України. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 1. С. 13–18.
- Бербець О.В. Світове виробництво сої як невичерпного джерела білків рослинного походження та місце України на світовому ринку торгівлі нею. *Агросвіт*. 2019. № 10. С. 41–45.
- Красій М.А., Міщенко І.А. Ринок сої стан та перспективи. *Сучасний менеджмент: виклики та можливості*: матеріали II Міжнародної наук.-практ. онлайн-конф. студентів, аспірантів і моводих вчених (м. Київ, 27 квітн. 2021 р.). Київ: НУБіП України, 2021. С. 78–81.
- Бахмат О.М., Федорук І.В. Формування урожайності зерна сої залежно від заходів адаптивної технології в умовах Лісостепу Західного. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2017. Вип. 26(1). С. 9–16.
- Смага І.С., Черлінка В.Р., Дмитрук Ю.М. Землеробство. Фактори життя рослин і родючість ґрунту: навч. посіб. Чернівці: Чернівець. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2022. 128 с.
- Воронянський С.І., Гарбузов Ю.Є., Біляvsька Л.Г. Сучасна селекція сої в Україні та її проблеми. *Селекційні досягнення в Україні: проблеми правової охорони та перспективи вдосконалення захисту*: матеріали всеукр. наук.-практ. конф. Полтава: ПДАА, 2018. Вип. 1. С. 46–48.
- Лимар О.А., Лимар А.В., Домаруцький К.О. Агрокліматичне районування півдня України і їх раціональне використання: моногр. Херсон: Грень В.С., 2014. 245 с.
- Пасічник О.І. Виробництво сої та соєвої олії в Україні. *Вісник студентського наукового товариства «Ватра»*: зб. наукових праць IX Всеукр. студентської наук.-практ. конф. 2020. Вип. 94. С. 173–178.
- Рябошапка К.С. Селекція сої. *Вісник ХНАУ*. 2015. 90 с.
- Міленко А.Г. Вплив агроєкологічних факторів на врожайність сої. *Сільськогосподарські науки*. 2015. № 6 (21). Ч. 1. С. 52–54.
- Біляvsька Л.Г., Біляvsький Ю.В., Шаповал О.С., Панченко С.С. Сучасний стан та перспективи насінництва сої в Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 4. С. 45–52. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.04.05>.
- Петриченко В.Ф., Бабич А.О. Соя. URL: <https://geonigri.com/bookview.php?id=533>.
- Гаврилюк А. Рекомендовано українські сорти сої для вирощування у різних регіонах. URL: <https://agrotimes.ua/agronomiya/rekomendovano-ukrayinski-sorty-soyi-dlya-vyuroshhuvannya-u-riznyh-regionah>.
- Кириченко В.В., Рябуха С.С., Кобизєва Л.Н. та ін. Соя (*Glycine max* (L.) Merr.): моногр. Харків: Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН, 2016. 400 с.
- Нетіс В.І. Оптимізація елементів технології вирощування сої на зрошувальних землях півдня України. *Таврійський вісник*. 2018. С. 77–83.
- Рибальченко А.М. Сучасне виробництво сої: світові тренди та вітчизняні реалії. In: *Discovering New Horizons in Science and Prospects for Implementation of Innovations: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Internet Conference* (July 7–8, 2022). Dnipro, Ukraine. P. 124.
- Цехмейструк М.Г., Шелякін В.О., Глубокий О.М., Шелякіна Т.А. Вплив фонів мінерального живлення на урожайність та якість сортів сої. *Се-*

- лекція і насінництво. 2020. Вип. 117. С. 206–214. DOI: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2020.207183>.
30. Searchinger T., Waite R., Hanson C. and Ranganathan J. Creating a sustainable food future: A menu of solutions to feed nearly 10 billion people by 2050: World resources report. Final report. July, 2019. URL: https://wrrfood.wri.org/sites/default/files/2019-07/WRR_Food_Full_Report_0.pdf
 31. Що краще посіяти після сої? URL: [https://reporter.zp.ua/shho-krashe-siyaty-pislya-soyi.html](https://reporter.zp.ua/shho-krashe-posiyati-pislya-soyi.html).
 32. Місце сої в сівозміні. URL: <https://posivna.com.ua/ua/zamitku-ahronoma/mistse-soji-v-sivozmini>.
 33. Вирощування сої. URL: <https://www.donausoja.org/uk/s%D1%96lske-gospodarstvo/virosuvannya-soi/>.
 34. Мазур В.А., Ткачук О.П., Панцирева Г.В., Купчук І.М. Соя в інтенсивному землеробстві. Вінниця: «Нілан-ЛТД», 2022. 220 с.
 35. Прус Л.І. Вплив агротехнічних заходів на продуктивність сої. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 1. С. 62–67. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2017.221002>.
 36. Плаксюк Л.Б., Вдовиченко А.В., Терновий Ю.В. Оцінка гербологічної ситуації на посівах сої у перехідному періоді до органічного землеробства в умовах зміни клімату. *Збалансоване природокористування*. 2017. № 1. С. 123–127.
 37. Перетяцько С.Г., Рудік О.Л. Сучасний стан та прикладні аспекти перспектив розвитку виробництва сої в Україні. *Зрошуване землеробство. Меліорація, землеробство, рослинництво*. 2021. 76. С. 49–53. DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.76.10>.

REFERENCES

1. Ivaniv, M.O. & Hanzha, V.V. (2021). Biometrychni pokaznyky ta urozhainist sortiv soi riznykh hrup styhosti zalezno vid elementiv tekhnologii v umovakh kraplynnoho zroshennia [Biometric indicators and productivity of soybean varieties of different maturity groups depending on the elements of technology under conditions of drip irrigation]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk — Taurian Scientific Bulletin*, 117, 54–64. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.8> [in Ukrainian].
2. Petrychenko, V.F., Lykhochvor, V.V. & Ivaniuk, S.V. (2016). *Soia: monohrafiia [Soybean: monograph]*. Vinnytsia: Dilo [in Ukrainian].
3. Hospodarenko, H.M. (Ed.), Bakhmat, O.M., Prokopchuk, I.V. & Vyshnevskaya, L.V. (2019). *Skladovi tekhnologii vyroshchuvannya soi: navch. posibnyk [Components of soybean cultivation technology: textbook]*. Uman [in Ukrainian].
4. Mazur, V.A., Didur, I.M. & Pansyryeva, H.V. (2020). Obgruntuvannya adaptivnoi sortovoi tekhnologii vyroshchuvannya zernobobovykh kultur v pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Substantiation of adaptive varietal technology for growing legumes in the right-bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisnytstvo — Agriculture and forestry*, 18, 5–17 [in Ukrainian].
5. Zabolotnyi, H.M. (2015). Vplyv mineralnykh dobryv ta mikroдобryv na formuvannya individualnoi produktyvnosti roslyn soi v umovakh Lisostepu pravoberezhnoho [Influence of mineral fertilizers and microfertilizers on the formation of individual productivity of soybean plants in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe]. *Ahrobiolohiia — Agribiology*, 2 (121), 130–133 [in Ukrainian].
6. Bakhmat, O.M. (2015). Ahroekolohichni umovy vyroshchuvannya soi na nasinnia v umovakh Lisostepu vyroshchuvannya soi na zroshuvanykh zemliakh Pivdnia Ukrainy [Agroecological conditions of growing soybeans for seeds in the conditions of the Forest-Steppe growing soybeans on irrigated lands of the South of Ukraine]. *Propozytsiia — Proposal*, 2, 52–57 [in Ukrainian].
7. Maslak, O. (2020). Prybutkova soia [Profitable soya]. *The Ukrainian Farmer*, 50–51 [in Ukrainian].
8. Patyka, V.P., Hnatiuk, T.T., Bulets, N.M. & Kyrylenko, L.V. (2015). Biolohichniy azot u systemi zemlerobstva [Biological nitrogen in the farming system]. *Zemlerobstvo — Agriculture*, 2, 12–20 [in Ukrainian].
9. Didora, V.H. (2018). Symbiotychna produktyvnist soi zalezno vid nokuliatcii nasinnia ta udobrennia [Symbiotic productivity of soybean depending on seed inoculation and fertilisation]. *Naukovi horyzonty — Scientific Horizons*, 1 (64), 23–28 [in Ukrainian].
10. Dushko, P.M. (2017). Otsiniuvannya udobren soi v tekhnologii yii vyroshchuvannya za adaptivnym potentsialom [Evaluation of soybean fertilizers in its technology cultivation according to adaptive potential]. *Ahroekolohichniy zhurnal — Agroecological journal*, 2, 205–210. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220307> [in Ukrainian].
11. Karpenko, O. (2024). Soia hotuietsia do revanshu [Soybeans are preparing for revenge]. URL: <https://www.zerno-ua.com/journals/2022/%E2%84%9612-2022/soya-gotu%D1%94tsya-do-revanshu-2/2023> [in Ukrainian].
12. Moldovan, Zh.A. & Moldovan, V.H. (2022). Otsinka konkurentozdatnosti doposivnoi obrobky nasinnia ta pozakorenykh pidzhyvlen soi za riznykh rivniv mineralnoho zhyvlenia [Assessment of the competitiveness of the soybean seed presowing treatment and foliar feeding at different levels of mineral nutrition]. *Kormy i kormovyrobnytstvo — Feed and feed production*, 94, 27–36. DOI: <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202294-03> [in Ukrainian].
13. Cherenkoviu, A.V. & Shevchenkoiu, M.S. (2017). Stratehiia vyrobnytstva zernobobovykh kultur i soi v Stepu Ukrainy [Strategy for the production of legumes and soybean crops in the Steppe of Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky — Bulletin of Agricultural Science*, 1, 13–18 [in Ukrainian].
14. Berbenets, O.V. (2019). Svitove vyrobnytstvo soi yak nevycherpnogo dzherela bilkiv roslynnoho pokhodzhennia ta mistse Ukrainy na svitovomu rynku torhivli neiu [World soybean production as an inexhaustible

- source of plant proteins and Ukraine's place in the world market for its trade]. *Agrosvit — Agroworld*, 10, 41–45 [in Ukrainian].
15. Krasii, M.A. & Mishchenko, I.A. (2021). Rynok soi stan ta perspektyvy [Soybean market status and prospects]. *Suchasnyy menedzhment: vyklyky ta mozhlyvosti: materialy II Mizhnarodnyy naukovo-praktychnoy onlayn-konferentsiyi studentiv, aspirantiv i molodykh vchenykh [Modern management: challenges and opportunities: materials of the II International scientific and practical online conference of students, postgraduates and young scientists]*. (pp. 78–81). Kyiv [in Ukrainian].
 16. Bakhmat, O.M. & Fedoruk, I.V. (2017). Formuvannya urozhainosti zerna soi zalezno vid zakhodiv adaptynoi tekhnolohii v umovakh Lisostepu zakhidnoho [The formation of soybean yield depending on the measures of adaptive technology in the conditions of the Western Forest Steppe]. *Podilskyi visnyk: silske gospodarstvo, tekhnika, ekonomika — Podilskyi visnyk: power farming, engineering, economics*, 26 (1), 9–16 [in Ukrainian].
 17. Smaha, I.S., Cherlinka, V.R. & Dmytruk, Yu.M. (2022). *Zemlerobstvo. Faktory zhyttia roslin i rodiuchist gruntiv: navch. posibnyk [Agriculture. Factors of plant life and soil fertility: a textbook]*. Chernivtsi [in Ukrainian].
 18. Voronianskyi, S.I., Harbuzov, Yu.Ye. & Biliavska, L.H. (2018). Suchasna selektsiia soi v Ukraini ta yii problemy [Modern breeding of soybeans in Ukraine and its problems]. *Selektsiyni dosyahnennya v Ukraini: problemy pravovoyi okhorony ta perspektyvy vdoskonalennya zakhystu: materialy vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi [Breeding achievements in Ukraine: problems of legal protection and prospects for improving protection: materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference]*. (pp. 46–48). Poltava [in Ukrainian].
 19. Lyamar, O.A., Lyamar, A.V. & Domarutskyi, K.O. (2014). *Ahroklimatychne raionuvannya pivdnia Ukrainy i yikh ratsionalne vykorystannia: monohrafiia [Agroclimatic zoning of the south of Ukraine and their rational use: monograph]*. Kherson [in Ukrainian].
 20. Pasichnyk, O.I. (2020). Vyrobnnytstvo soi ta soievoi olii v Ukraini [Production of soybeans and soybean oil in Ukraine]. *Visnyk studentskoho naukovoho tovarystva «Vatra»: zbirnyk naukovykh prats IX Vseukrainskoi studentskoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Bulletin of the Student Scientific Society «Varta»: collection of scientific papers of the IX All-Ukrainian Student Scientific and Practical Conference]*. (pp. 173–178). [in Ukrainian].
 21. Riaboshapka, K.S. (2015). Seleksiia soi [Soybean breeding]. *Visnyk KhNAU — Bulletin of Kharkiv National Agrarian University*, 90 [in Ukrainian].
 22. Milenko, A.H. (2015). Vplyv ahroekolohichnykh faktoriv na vrozhainist soi [Influence of agroecological factors on soybean yield]. *Silskohospodarski nauky — Agricultural sciences*, 6 (21), 52–54 [in Ukrainian].
 23. Biliavska, L.H., Biliavskyi, Yu.V., Shapoval, O.S. & Panchenko, S.S. (2020). Suchasnyi stan ta perspektyvy nasinnnytstva soi v Lisostepu Ukrainy [Current state and prospects of soybean seed production in the Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii — Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 4, 45–52. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.04.05> [in Ukrainian].
 24. Petrychenko, V.F. & Babych, A.O. Soia [Soybean]. (n.d.). URL: <https://geoknigi.com/bookviewPhp?id=533> [in Ukrainian].
 25. Havryliuk, A. Rekomendovano ukrainski sorty soi dlia vyroshchuvannya u riznykh rehionakh [Recommended Ukrainian soybean varieties for cultivation in different regions]. (n.d.). URL: <https://agrotimes.ua/agronomiya/rekomendovano-ukrayinski-sorty-soyi-dlya-vyroshhuvannya-u-riznyh-regionah> [in Ukrainian].
 26. Kyrychenko, V.V., Riabukha, S.S., Kobyzieva, L.N. et al. (2016). *Soia (Glycine max (L.) Merr.): monohrafiya [Soybean (Glycine max (L.) Merr.): monograph]*. Kharkiv [in Ukrainian].
 27. Netis, V.I. (2018). Optymizatsiia elementiv tekhnolohii vyroshchuvannya soi na zroshuvalnykh zemliakh pivdnia Ukrainy [Optimisation of elements of soybean cultivation technology on irrigated lands of the south of Ukraine]. *Tavriyskyi visnyk — Tavriyskyi visnyk*, 77–83 [in Ukrainian].
 28. Rybalchenko, A.M. (2022). Suchasne vyrobnytstvo soi: svitovi trendy ta vitchyzniani realii [Modern soybean production: world trends and domestic realities]. *Discovering New Horizons in Science and Prospects for Implementation of Innovations: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Internet Conference*. (p. 124). Dnipro [in Ukrainian].
 29. Tsekhmeystruk, M.H., Sheliakin, V.O., Hlubokyi, O.M. & Sheliakina, T.A. (2020). Vplyv foniv mineralnoho zhyvlenia na urozhainist ta yakist sortiv soi [Influence of mineral nutrition on yields and quality of soybean varieties]. *Selektsiia i nasinnnytstvo — Breeding and seed production*, 117, 206–214. DOI: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2020.207183> [in Ukrainian].
 30. Searchinger, T., Waite, R., Hanson, C. & Ranganathan, J. (2019). Creating a sustainable food future: A menu of solutions to feed nearly 10 billion people by 2050: World resources report. Final report. URL: https://wrrfood.wri.org/sites/default/files/2019-07/WRR_Food_Full_Report_0.pdf [in English].
 31. Shcho krashche posiaty pislia soi? [What is better to sow after soya?]. (n.d.). URL: <https://reporter.zp.ua/shcho-krashhe-siyaty-pislya-soyi.html> [in Ukrainian].
 32. Mistse soi v sivozmini [The place of soya in crop rotation]. (2024). URL: <https://posivna.com.ua/ua/zamitky-ahronoma/mistse-soji-v-sivozmini> [in Ukrainian].
 33. Vyroshchuvannya soi [Growing soybeans]. (2024). URL: <https://www.donausoja.org/uk/s%D1%96lske-gospodarstvo/virosuvannja-soi/> [in Ukrainian].
 34. Mazur, V.A., Tkachuk, O.P., Pantsyрева, H.V. & Kupchuk, I.M. (2022). *Soia v intensyvnomu zemlerobstvi [Soybean in intensive agriculture]*. Vinnytsia: «Nilan-LTD» [in Ukrainian].
 35. Prus, L.I. (2017). Vplyv ahrotekhnichnykh zakhodiv na produktyvnist soi [Influence of agrotechnical mea-

- sure on soybean productivity]. *Ahroekolohichniy zhurnal — Agroecological journal*, 1, 62–67. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2017.221002> [in Ukrainian].
36. Plaksiuk, L.B., Vdovychenko, A.V. & Ternovyi, Yu.V. (2017). Otsinka herbolohichnoi sytuatsii na posivakh soi u perekhidnomu periodi do orhanichnoho zemlerobstva v umovakh zminy klimatu [Assessment of the herbological situation on soybean crops in the transition period to organic farming in the context of climate change]. *Zbalansovane pryrodokorystuvania — Balanced nature management*, 1, 123–127 [in Ukrainian].
37. Peretiatio, S.H. & Rudik, O.L. (2021). Suchasnyi stan ta prykladni aspekty perspektyv rozvytku vyrobnytstva soi v Ukraini [Current state and applied aspects of the prospects for the development of soybean production in Ukraine]. *Zroshuvane zemlerobstvo. Melioratsiia, zemlerobstvo, roslynnystvo — Irrigated agriculture. Land reclamation, agriculture, crop production*, 7, 49–53. DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.76.10> [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 30.01.2024

БІОЛОГІЧНИЙ МЕТОД ЗАХИСТУ ЯБЛУНИ ПРОТИ ПАРШІ (*VENTURIA INAEQUALIS* (COOKE) WINT.) В УМОВАХ ПЕРЕДКАРПАТСЬКОЇ ПРОВІНЦІЇ КАРПАТСЬКОЇ ГІРСЬКОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

М.В. Гунчак

Чернівецька філія державної установи «Інститут охорони ґрунтів України»
(м. Чернівці, Україна)

e-mail: chernivtsy_grunt@ukr.net; ORCID: 0000-0002-3521-8531

Встановлено, що досліджувані системи біологічного захисту яблуні в умовах Передкарпатської провінції Карпатської гірської зони України впродовж 2016–2020 рр. засвідчили високу ефективність дії проти парші яблуні. Найвищу ефективність отримали під час застосування системи захисту № 4 (ФітоДоктор, р., Гаубсін, р. та Триходермін, р. і технології живлення MASTech): ефективність проти парші на листках яблуні становила в середньому 71,6%, а проти парші на плодах — 73,5%. Біологічна система захисту яблуні №1 (чотириразове внесення препарату Планриз, в.с.) показала ефективність проти парші на листках 65,7%, а проти парші на плодах — 62,7%. Під час застосування біологічної системи захисту №2 (чотириразове внесення препарату Планриз, в.с. та імунопротектора Bai-Si) ефективність проти парші на листках яблуні становила в середньому 67,2%, а проти парші на плодах — 66,7%. За використання біологічної системи захисту № 3 (чотириразове внесення препарату Планриз, в.с. та технології живлення Stoller) ефективність проти парші на листках яблуні сягала в середньому 70,1%, а проти парші на плодах — 72,5%. Урожайність плодів яблуні за застосування біологічної системи захисту №1 у 2016–2020 рр. становила в середньому 17,1 т/га, за використання біологічної системи захисту № 2 сягала 17,5 т/га, за біологічної системи захисту № 3 урожайність була на рівні 18,3 т/га, а за застосування біологічної системи захисту № 4 — 18,1 т/га. Під час використання біологічної системи захисту № 1 у 2016–2020 рр. отримали в середньому рентабельність 322,1% та дохід — 6410,0 грн/га. Від застосування системи № 2 одержали умовно чистий дохід у розмірі 8 110,0 грн/га та рентабельність 262,5%. За використання системи № 3 мали умовно чистий дохід у розмірі 10 932,0 грн/га, а рентабельність захисних заходів становила 186,3%. За застосування біологічної системи № 4 отримали рентабельність 69,2% та дохід — 6300,0 грн/га.

Ключові слова: яблуневі насадження, грибові хвороби, біологічні препарати, технічна ефективність, економічна ефективність.

ВСТУП

Яблуневим насадженням шкодить ціла низка хвороб, які істотно зменшують урожайність дерев, негативно впливають на якісні показники плодової продукції та можуть навіть призводити до втрати всього врожаю чи загибелі дерев. Однак однією з найпоширеніших хвороб яблуні в умовах Передкарпатської провінції Карпатської гірської зони України є парша. Збудник — сумчастий гриб *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint. з конідіальною стадією відповідно *Fusicladium dendriticum* (Wabr.) Fuck. Хвороба уражає листки, плоди і пагони. В до-

щові роки, особливо навесні, уражуються також квітки і зав'язь. Шкідливість парші полягає в обмеженні асиміляційної поверхні внаслідок передчасного опадання уражених листків. Втрата листків може становити 50–80%, через що різко знижується продуктивність рослин, зменшується приріст пагонів, погіршується зимостійкість дерев. За значного ураження квіток і зав'язі парша може повністю знищити врожай, а за сильного ураження сформованих плодів втрата їх маси може становити 45–80%. Товарна якість плодів значно погіршується [1–3].

Садівництво — галузь, де інтенсивно застосовують хімічні засоби захисту. Однак

для одержання екологічно безпечної плодової продукції стратегія захисту яблуневих садів має ґрунтуватись на поширенні використання екологічного підходу до розроблення та реалізації захисних заходів із максимальним застосуванням біологічних засобів [4–5].

Наразі відомо багато біопрепаратів, які використовують проти парші яблуні, але ефективність їхньої дії різна. З огляду на те, що парша є найпоширенішою хворобою яблуні в умовах Передкарпатської провінції Карпатської гірської зони України, **метою роботи** було вивчення ефективності систем біологічного захисту проти парші яблуні в регіоні.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Важливе значення в обмеженні негативного впливу хімічних засобів захисту має біологічний метод захисту рослин, впровадження якого щодо хвороб яблуні хоча й перебуває на стадії наукового пошуку, але все-таки починає успішно впроваджуватись для захисту яблуневих насаджень. Так, дослідженнями Скорейко А.М. [6] встановлено високу ефективність біопрепаратів Фітоцид-р (бактерії *Bacillus subtilis*), р. та Агат 25К (бактерії *Pseudomonas aureofaciens*), т. пс. проти парші яблуні.

Дослідниками доведено, що біологічні препарати, порівняно з хімічними мають нижчу ефективність, але вони екологічно безпечніші, тому їх застосування заслуговує уваги. На відміну від пестицидів, біологічні препарати характеризуються більш уповільненою дією, але й мають метатоксичний ефект і за певних умов можуть спричинити епізоотії у комах. Недоліком є також те, що ефективність біопрепаратів може знижуватись внаслідок несприятливих погодних умов: дощів, які здатні змити препарат, низької температури, що послаблює активність живлення шкідників, а також ультрафіолетового випромінювання, яке частково інактивує бактерії [7; 8].

Як вказують Борзих О.І. та ін. [9], використання біологічних препаратів у системах захисту є надзвичайно необхідним,

адже це дає можливість стабілізувати екологічну рівновагу в садовому агробіоценозі й оптимізувати обсяги застосування хімічних засобів для збереження корисних видів і мінімального негативного впливу на зовнішнє середовище.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Робота виконувалась впродовж 2016–2020 рр. в яблуневому саду Української науково-дослідної станції карантину рослин Інституту захисту рослин НААН (УкрНДСКР ІЗР) за загальноприйнятими методиками [10; 11] на насадженнях яблуні 2005 р. садіння сорту Айдаред на підщепі М-106. Схема садіння: 4×2,5 м. Система утримання ґрунту – під багаторічними травами.

Дослідна ділянка розміщена на чорноземі опідзоленому середньозмитому важкосуглинковому ґрунті з середнім вмістом гумусу – 2,1% та слабокислою реакцією ґрунтового розчину ($\text{pH}_{\text{сол.}}$ – 5,1). Забезпеченість ґрунту фосфором низька (P_2O_5 – 45 мг/кг ґрунту), калієм – середня (K_2O – 66 мг/кг ґрунту), легкогідролізованим азотом – дуже низька (76 мг/кг ґрунту). Агроекологічна оцінка в балах становить 41 із 100.

Фітосанітарний моніторинг проводили візуально та за допомогою феромонних пасток. Обліки заселення фітофагами та наявності й розвитку хвороб здійснювались за загальноприйнятими методиками відповідно до фаз рослини-господаря: набрякання бруньок, зелений конус, висування бутонів, відокремлення бутонів, рожевий бутон, цвітіння, кінець цвітіння, формування, ріст та дозрівання плодів [10; 12].

У польових дослідах у кожному варіанті використовувалося по 10 облікових дерев (дерево–повторність).

Для обліку парші оглядали 200 листків із різних боків крони і визначали ступінь їх ураження за відповідною шкалою. Для визначення ураження плодів паршею проводили облік на 100 плодах (по 25 облікових плодів із кожного боку крони) на 10 рівномірно розміщених деревах. Інтенсивність

або ступінь розвитку хвороби обраховували у відсотках поверхні рослин чи окремих їх органів, вкритих плямами чи нальотами за відповідними окомірними відсотковими шкалами або в умовних балах за певними шкалами із характеристикою симптомів хвороби [10]. Відсоток ураження виявляли шляхом множення кількості уражених листків чи плодів на 100 і діленням добутку на число взятих для обліку листків чи плодів.

Поширення хвороб (Px) (кількість уражених рослин чи окремих їх органів у відсотках) визначали за формулою [10]:

$$Px = n \cdot 100 / N, \quad (1)$$

де Px – поширення хвороби; N – загальна кількість рослин у пробі; n – кількість уражених органів (рослин), %.

Відсоток розвитку хвороби або ступінь ураження (R , %) обраховували за формулою [10]:

$$R = (\sum(r \cdot b) \cdot 100) / P \cdot B, \quad (2)$$

де R – розвиток хвороби, %; $\sum(r \cdot b)$ – сума добутків кількості рослин (r) на відповідний бал ураження (b); P – кількість листків чи плодів, узятих для обліку, шт.; B – найвищий бал шкали, за якою проводиться оцінка ураження в досліді.

Ефективність дії фунгіцидів ($E\partial$, %) визначали згідно з формулою [10]:

$$E\partial = (100 \cdot (P_k - P\partial)) / P_k, \quad (3)$$

де $E\partial$ – ефективність дії препарату, %; P_k – показник розвитку хвороби на контролі; $P\partial$ – показник розвитку хвороби в дослідному варіанті.

Економічну ефективність застосування засобів захисту обраховували за загальноприйнятими методиками [13].

Умовно чистий дохід від застосування захисних заходів було розраховано за формулою [13; 14]:

$$\text{ЧД} = B_3 - E_3, \quad (4)$$

де ЧД – умовно чистий дохід, грн/га; B_3 – вартість збереженого врожаю, грн/га; E_3 – витрати, пов'язані з одержанням збереженого врожаю, грн/га.

Вартість витрат, що пов'язані з одержанням збереженого врожаю визначали

як суму витрат на препарати, витрат на їх застосування та витрат на збирання, транспортування та зберігання додаткового врожаю [13]:

$$E_3 = B_m + B_e + B\partial, \quad (5)$$

де B_m – витрати на придбання біопрепаратів; B_e – витрати на внесення біопрепаратів; $B\partial$ – витрати на збирання, транспортування та зберігання додаткового врожаю.

Норму рентабельності захисних заходів визначали як процентне співвідношення умовно чистого доходу до затрат, пов'язаних з одержанням збереженого врожаю [13]:

$$P = \text{ЧД} / E_3 \cdot 100\%. \quad (6)$$

Поріг окупності (Po) визначали за формулою [13]:

$$Po = E_3 / \text{Ц}, \quad (7)$$

де Ц – ціна врожаю, грн/т.

Статистичну обробку результатів досліджень здійснювали за загальноприйнятими методиками [15].

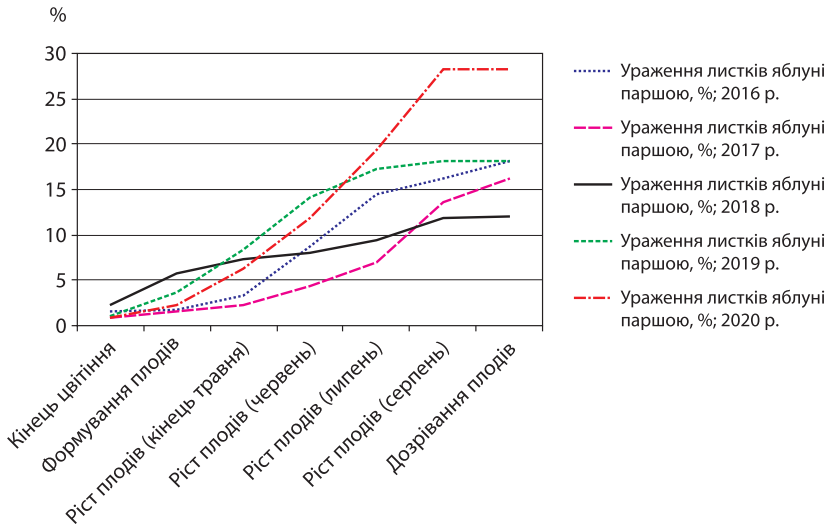
Обприскування дерев проти парші яблуні проводили у фенофазі формування плодів, під час росту плодів (плід розміром волоського горіха), за росту плодів (кінець липня) та у процесі дозрівання плодів.

Урожайність насаджень визначали під час збирання врожаю у третій декаді вересня.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результатами фітосанітарного моніторингу (*рис.*) встановлено, що впродовж 2016–2020 рр. поширення та розвиток парші було відмічено у фенофазі кінець цвітіння (0,8–2,3% уражених листків). Під час росту плодів (плід розміром волоського горіха) поширення парші збільшилося до 8,1–11,8% уражень. У процесі дозрівання плодів парша яблуні набула більшого поширення (до 12,1–28,2% ураженого листка та до 10,2–16,6% уражених плодів).

Для захисту яблуневих насаджень від хвороб за 2016–2020 рр. досліджували 4 системи біологічного захисту.



Ураження яблуневих насаджень паршею у Передкарпатській провінції Карпатської гірської зони України, 2016–2020 рр.

Перша біологічна система захисту включала такі обприскування: фенофаза формування плодів: Планриз, в.с. (бактерії штаму AP-33 *Pseudomonas fluorescens*, $3 \cdot 10^9$ КУО/см³ + бурштинова кислота, 0,2% + амонійні солі дигідропіримідину (ксемидон) 0,1% + 2 мл DMAE + 2 мл DMSO) — 5,0 л/га; фенофаза ріст плодів (плід розміром волоського горіха): Планриз, в.с. — 5,0 л/га; фенофаза ріст плодів (кінець липня): Планриз, в.с. — 5,0 л/га; фенофаза дозрівання плодів (не пізніше, як за три тижні до початку збирання врожаю): Планриз, в.с. — 5,0 л/га.

Результатами досліджень встановлено (табл. 1), що застосування цієї системи захисту дало змогу впродовж 2016–2020 рр. на 65,7% зменшити розвиток парші на листках яблуні та на 62,7% на плодах яблуні. Врожайність плодів яблуні за застосування цієї біологічної системи захисту в середньому за роки досліджень сягала 17,1 т/га.

Друга біологічна система захисту включала такі обприскування: фенофаза формування плодів: Планриз, в.с. (бактерії штаму AP-33 *Pseudomonas fluorescens*, $3 \cdot 10^9$ КУО/см³) — 5,0 л/га + стимулятор росту Bai-Si (імунопротектор на основі

кремнію) — 1,0 л/га; фенофаза ріст плодів (плід розміром волоського горіха): Планриз, в.с. — 5,0 л/га + стимулятор росту Bai-Si — 1,0 л/га; фенофаза ріст плодів (кінець липня): Планриз, в.с. — 5,0 л/га + стимулятор росту Bai-Si — 1,0 л/га; фенофаза дозрівання плодів (не пізніше, як за три тижні до початку збирання врожаю): Планриз, в.с. — 5,0 л/га. Ефективність застосування цієї системи захисту проти парші на листках яблуні в середньому становила 67,2%, а проти парші на плодах яблуні — 66,7%, що у середньому за роки досліджень на 2–4% вище, ніж за використання самого Планриз, в.с. Урожайність плодів яблуні за застосування цієї системи захисту сягала 17,5 т/га.

Наступна біологічна система захисту включала обприскування препаратом Планриз, в.с. разом із технологією живлення Stoller: фенофаза відокремлення бутонів: Fast Start (Zn, органічні, вільні та фульвові амінокислоти) — 2,0 л/га; фенофаза рожевий бутон: Планриз, в.с. (бактерії штаму AP-33 *Pseudomonas fluorescens*, $3 \cdot 10^9$ КУО/см³) — 5,0 л/га + антистресант Bioforge (N (2%), K₂O (3%), диформіл сечовина) — 0,5 л/га + Sugar Mover (B (8%)

Таблиця 1. Ефективність біологічних систем захисту проти парші яблуні (УкрНДСКР ІЗР НААН, 2016–2020 рр.)

Препарат (норма витрати, л (кг)/га)	Листки, %			Плоди, %			Урожайність, т/га
	П*	Р**	ТЕ***	П	Р	ТЕ	
Контроль (вода)	18,1	6,7	—	12,2	5,1	—	15,9
Контроль хімічний: Делан, в.г. + Топсін-М, з.п.	1,7	0,6	91,0	1,4	0,6	88,2	17,8
Планриз, в.с. (5,0 л/га)	6,4	2,3	65,7	4,5	1,9	62,7	17,1
Планриз, в.с. (5,0 л/га) + Bai-Si (1,0 л/га)	6,1	2,2	67,2	4,1	1,7	66,7	17,5
Планриз, в.с. (5,0 л/га) + технологія живлення Stoller	5,5	2,0	70,1	3,4	1,4	72,5	18,3
ФітоДоктор, р. (2,0 л/га) + Гаубсин, р. (8,0 л/га) + Триходермін, р. (5,0 л/га) + технологія MASTech	5,2	1,9	71,6	3,2	1,3	73,5	18,1
НІР _{0,5}	0,55	0,2		0,65	0,3		0,6

Примітка: П*, % – поширення хвороби, Р**, % – розвиток хвороби, ТЕ***, % – технічна ефективність.

і Мо (0,04%) – 1,0 л/га; фенофаза формування плодів: Планриз, в.с. (бактерії штаму AP-33 *Pseudomonas fluorescens*, $3 \cdot 10^9$ КУО/см³) – 5,0 л/га; фенофаза ріст плодів: X-Tra Power (Cu (0,8%), Mn (0,8), Zn (3,2) і Mg (0,8%)) – 1,5 л/га; фенофаза ріст плодів (плід розміром волоського горіха): Планриз, в.с. – 5,0 л/га; фенофаза дозрівання плодів (не пізніше, як за три тижні до початку збирання врожаю): Планриз, в.с. – 5,0 л/га + Sugar Mover (B (8%) і Мо (0,004%) – 1,0 л/га; після збору врожаю: Nitrate Balancer (B (9%) і Мо (0,005%) – 2,0 л/га. Застосування цієї системи захисту дало можливість у 2016–2020 рр. на 70,1% зменшити розвиток парші на листках яблуні та на 72,5% на плодах яблуні, що у середньому на 5–8% вище, ніж за використання самого Планриз, в.с. Урожайність плодів яблуні за застосування цієї системи сягла 18,3 т/га, що є найвищим показником серед досліджуваних систем та зумовлено використанням антистресантів, хелатованих мікроелементів та стимуляторів росту (технологія живлення Stoller).

Наступна біологічна система захисту включала обприскування препаратами

ФітоДоктор, р., Гаубсин, р. та Триходермін, р. разом із технологією живлення MASTech: фенофаза Зелений конус: фунгіцид ФітоДоктор (Спорофіт), р. (бактерії *Bacillus subtilis* ІМВ В-7100 (26Д), титр життєздатних бактерій – не менше $5 \cdot 10^9$ /г препарату) – 2,0 л/га; фунгіцид Гаубсин, р. (бактерії *Pseudomonas aureofaciens* В-111 та В-306, титр життєздатних клітин $1 \cdot 10^4$ /мкг препарату) – 8,0 л/га; Урожай Цинк (Zn 112 г/л) – 3,0 л/га; Адюмакс – 0,15 л/га; фенофаза зелений бутон: фунгіцид ФітоДоктор (Спорофіт), р. – 2,0 л/га; фунгіцид Гаубсин, р. – 8,0 л/га; Урожай Цинк (Zn 112 г/л) – 3,0 л/га; Урожай Фітосад – 2,0 л/га; Адюмакс – 0,15 л/га; фенофаза рожевий бутон: фунгіцид ФітоДоктор (Спорофіт), р. – 2,0 л/га; фунгіцид Гаубсин, р. – 8,0 л/га; Урожай Бор – 3,0 л/га; Урожай Фітосад – 2,0 л/га; Адюмакс – 0,15 л/га; фенофаза цвітіння: фунгіцид ФітоДоктор (Спорофіт), р. – 2,0 л/га; фунгіцид Триходермін (спори гриба *Trichoderma viride*, штам Т-4, титр спор 5 млрд КУО/см³), р. – 5,0 л/га; Аміностим – 1,5 л/га; Адюмакс – 0,15 л/га; фенофаза ріст плодів (плід розміром ліщини): фунгі-

цид ФітоДоктор (Спорофіт), р. — 2,0 л/га; фунгіцид Триходермін, р. — 5,0 л/га; фунгіцид Гаубсин, р. — 8,0 л/га; Урожай Цинк (Zn 112 г/л) — 3,0 л/га; Урожай Фітосад — 2,0 л/га; Адюмакс — 0,15 л/га; фенофаза ріст плодів (плід розміром волоського горіха): фунгіцид ФітоДоктор (Спорофіт), р. — 2,0 л/га; фунгіцид Гаубсин, р. — 8,0 л/га; Урожай Сад — 4,0 л/га; Адюмакс — 0,15 л/га; через 15 днів після наступного обприскування: фунгіцид ФітоДоктор (Спорофіт), р. — 2,0 л/га; фунгіцид Гаубсин, р. — 8,0 л/га; Урожай Сад — 3,0 л/га; Адюмакс — 0,15 л/га; через 15 днів після наступного обприскування: фунгіцид ФітоДоктор (Спорофіт), р. — 1,0 л/га; фунгіцид Гаубсин, р. — 8,0 л/га; Урожай Фітосад — 4,0 л/га; Урожай Сад — 3,0 л/га; Урожай Цинк (Zn 112 г/л) — 3,0 л/га; Адюмакс — 0,15 л/га; через 15 днів після наступного обприскування: фунгіцид ФітоДоктор (Спорофіт), р. — 1,0 л/га; фунгіцид Гаубсин, р. — 8,0 л/га; Урожай Фітосад — 4,0 л/га; Урожай Сад — 3,0 л/га; Урожай Цинк (Zn 112 г/л) — 3,0 л/га; Адюмакс — 0,15 л/га; фенофаза дозрівання плодів: фунгіцид Гаубсин, р. — 8,0 л/га; Урожай Сад — 3,0 л/га; Адюмакс — 0,15 л/га. За застосування цієї системи захисту у 2016–2020 рр. отримали ефективність проти парші на листках яблуні 71,6%, а проти парші на плодах яблуні — 73,5%, що у середньому за роки досліджень було найвищим результатом серед досліджуваних систем захисту та зумовлено використанням разом із біопрепаратами ад'ювантів, хелатованих мікроелементів та мікродобрив. Урожайність плодів яблуні за допомогою цієї системи захисту становила 18,1 т/га.

Як еталон у 2016–2020 рр. застосовували таку систему хімічного захисту: фенофаза формування плодів: фунгіцид Делан (дитіанон), в.г. — 0,8 кг/га; фенофаза ріст плодів (плід розміром волоського горіха): Делан, в.г. — 0,8 кг/га; фенофаза ріст плодів (кінець липня): Делан, в.г. — 0,8 кг/га; фенофаза дозрівання плодів: фунгіцид Топсін-М (тіофанат-метил), з.п. — 2,0 л/га. Ефективність застосування хімічної системи захисту проти парші на листках яблу-

ні сягала 91,0%, а проти парші на плодах яблуні — 88,2%. Урожайність плодів яблуні за використання хімічної системи захисту в середньому становила 17,8 т/га.

Під час досліджень було здійснено економічну оцінку біологічних систем захисту яблуні від парші в умовах Передкарпатської провінції Карпатської гірської зони України впродовж 2016–2020 рр.

Економічний аналіз застосування даних систем захисту яблуні проводили згідно з такими показниками: вартість системи захисту, грн/га; витрати, пов'язані з її застосуванням, грн/га; урожайність, т/га; ціна реалізації 1 т плодів, грн; збережений урожай, т/га; вартість збереженого врожаю, грн/га; витрати, пов'язані з отриманням додаткового врожаю, грн/га; але основними показниками економічної ефективності застосування пестицидів є умовно чистий дохід, грн/га та рентабельність, %. Також розраховували поріг окупності, що показує, який приріст урожаю потрібно отримати, щоб окупити витрати на систему захисту, витрати, що пов'язані з її застосуванням та витрати, які пов'язані з отриманням додаткового врожаю.

Дослідження та розрахунки свідчили, що за використання всіх досліджуваних систем захисту яблуні проти парші у 2016–2020 рр. (табл. 2), отримали високі показники умовно чистого доходу від застосованих заходів, рентабельності захисних заходів та порогу окупності.

Система хімічного захисту визначила в період дослідження показник умовно чистого доходу від застосованих заходів на рівні 8249,4 грн/га. Рентабельність захисних заходів становила 163,3%, а поріг окупності — 0,59 т/га.

За застосування біологічної системи захисту №1, яка базувалася на чотириразовому внесенні препарату Планриз, в.с., отримали показник умовно чистого доходу від застосованих заходів у середньому за роки досліджень на рівні 6410,0 грн/га. Натомість рентабельність захисних заходів була найвищою серед досліджуваних систем та сягала 322,1%, що дало змогу отримати дохід утричі більший за наші ви-

Таблиця 2. Економічна ефективність систем захисту яблуні від парші в умовах Передкарпатської провінції Карпатської гірської зони України, 2016–2020 рр.

Назва показника	Контроль	Хімічна система	Система			
			№1	№2	№3	№4
Вартість системи, грн/га	—	3710,6	1000,0	1900,0	4248,0	7455,0
Витрати, пов'язані з її застос., грн/га	—	390,0	390,0	390,0	420,0	545,0
Урожайність, т/га	15,9	17,8	17,1	17,5	18,3	18,1
Ціна реалізації 1 т плодів, грн	6000,0	7000,0	7000,0	7000,0	7000,0	7000,0
Збережений урожай, т/га	—	1,9	1,2	1,6	2,4	2,2
Вартість збереженого врожаю, грн/га	—	13300,0	8400,0	11200,0	16800,0	15400,0
Витрати, пов'язані з додатковим урожаєм, грн/га	—	950,0	600,0	800,0	1200,0	1100,0
Умовно чистий дохід, грн/га	—	8249,4	6410,0	8110,0	10932,0	6300,0
Рентабельність, %	—	163,3	322,1	262,5	186,3	69,2
Поріг окупності, т/га	—	0,59	0,20	0,33	0,67	1,14

трати та зумовлено найнижчою вартістю цієї системи (1000 грн/га). Поріг окупності для цієї системи захисту був найнижчим та становив 0,20 т/га.

Біологічна система захисту №2, в якій здійснювали чотириразове внесення препарату Планриз, в.с. та імунопротектора на основі кремнію Vai-Si, у 2016–2020 рр. показала умовно чистий дохід на рівні 8110,0 грн/га, за рентабельності 262,5%. Поріг окупності захисних заходів становив 0,33 т/га.

Від застосування біологічної системи захисту №3, в якій використовували чотириразове внесення препарату Планриз, в.с. та внесення комплексу елементів живлення (технологія Stoller), отримали умовно чистий дохід у середньому на рівні 10932,0 грн/га, що є найвищим показником серед досліджуваних систем та пов'язано з найвищою урожайністю. Рентабельність захисних заходів становила 186,3%, а поріг окупності – 0,67 т/га.

Система біологічного захисту №4, де застосовували препарати ФітоДоктор, р., Гаубсин, р. і Триходермін, р. та комплекс елементів живлення (технологія MASTech), дала змогу отримати показник умовно

чистого доходу від застосованих заходів на рівні 6300,0 грн/га й рентабельність 69,2%, що хоча і є найнижчим серед досліджуваних систем, але ці показники є високими для галузі рослинництва. Поріг окупності був найбільшим серед досліджуваних систем та становив у середньому за роки досліджень 1,14 т/га, що зумовлено найвищою вартістю цієї системи (7455,0 грн/га) та найвищими витратами на її застосування (545,0 грн/га).

ВИСНОВКИ

Встановлено, що досліджувані системи біологічного захисту показали ефективність дії проти парші на листках яблуні в середньому у 2016–2020 рр. у межах 65,7–71,6%, проти парші на плодах яблуні – на рівні 62,7–73,5%. Зокрема найвищу ефективність отримали за застосування системи №4: ефективність проти парші на листках яблуні становила 71,6%, а проти парші на плодах – 73,5%. Суміші біологічних препаратів з елементами живлення не лише забезпечили надійний захист яблуні від парші, але і поліпшили технологічність захисних заходів, підвищили стійкість до різких змін температур та збільшили

врожайність. Урожайність яблуневих насаджень під час дослідження біологічних систем захисту яблуні проти парші сягала 17,1–18,3 т/га. Дослідження та розрахунки показали, що найефективнішою за рівнем рентабельності за роки проведення досліджень була біологічна система захисту № 1

(322,1%), а найбільший умовно чистий дохід отримано від застосування біологічної системи захисту № 3 (10 932,0 грн/га). За використання систем біологічного захисту від парші отримали умовно чистий дохід від 6300,0 до 10932,0 грн/га, за рентабельності 69,2–322,1%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шерстобоева О.В., Крижанівський А.Б., Бунас А.А. Антагонізм *Bacillus thuringiensis* до фітопатогенних мікроміцетів — збудників хвороб яблуні. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 2. С. 71–77. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234460>.
2. Holb I., Abonyi F., Buurma J. and Heijne B. On-farm and on-station evaluations of three orchard management approaches against apple scab and apple powdery mildew. *Crop Protection*. 2017. Vol. 97. P. 109–118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.023>.
3. Martin E.A. et al. Assessing the resilience of biodiversity-driven functions in agroecosystems under environmental change. *Advances in Ecological Research*. 2019. Vol. 60. P. 59–123. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/bs.aecr.2019.02.003>.
4. Борзих О.І. та ін. Захист яблуні від шкідливих комах, кліщів та хвороб (Південний і Південно-Східний Степ). Київ: Колобів, 2014. 44 с.
5. Шевчук І.В., Гриник І.В., Каленич Ф.С. Агроекологічні системи інтегрованого захисту плодкових і ягідних культур від шкідників і хвороб: реком. Київ: ПП Санспарель, 2021. 188 с.
6. Скорейко А.М. Захист яблуні від парші у Західному Лісостепу України. *Захист і карантин рослин*. 2017. Вип. 63. С. 151–155. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2017.63.151-155>.
7. Лішук А.М., Парфенюк А.І., Городиська І.М. та ін. Основні важелі управління екологічними ризиками в агроценозах. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 2. С. 74–85. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2022.263320>.
8. Гунчак М.В., Гаврилюк Л.Л., Соломійчук М.П., Скорейко А.М. Біологічний метод захисту яблуні від шкідливих організмів. Чернівці: ФОП Варвус В.В., 2018. 18 с.
9. Борзих О., Бублик Л., Гунчак М. та ін. Екоотоксикологічні параметри застосування біопестицидів, розробка та адаптація біологічних систем захисту яблуні від шкідників та хвороб до ґрунтово-кліматичних умов та фітосанітарного стану агроценозу. *Фітосанітарна безпека*. 2023. № 68. С. 3–26. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.3-26>.
10. Методики випробування і застосування пестицидів / за ред. С.О. Трибеля. Київ: Світ, 2001. 448 с.
11. Чабанюк Я.В. та ін. Визначення біологічної ефективності пестицидів і агрохімікатів: методичні вказівки. Київ, 2013. 36 с.
12. Кулешов А.В., Білик М.О., Довгань С.В. Фітосанітарний моніторинг і прогноз: навч. посіб. Харків: Еспада, 2011. 608 с.
13. Методика економічної та енергетичної оцінки типів насаджень, сортів, інвестицій в основний капітал, інновацій та результатів технологічних досліджень у садівництві / за ред. О.М. Шестопаля. Київ: Інститут садівництва УААН, 2006. 141 с.
14. Гунчак М.В. Економічна ефективність різних систем захисту яблуні (*Malus domestica* Borkh.) у Придністров'ї. *Садівництво*. 2018. Вип. 73. С. 74–81.
15. Valli V., Stahl F. and Feit E. *Field Experiments*. 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-05542-8_3-1.

REFERENCES

1. Sherstoboieva, O.V., Kryzhanivskyi, A.B. & Bunas, A.A. (2021). Antagonism *Bacillus thuringiensis* do fitopatohennykh mikromitsitetiv — zbudnykiv khvorob yabluni [Antagonism of *Bacillus thuringiensis* to phytopathogenic micromycetes, causative agents of apple diseases]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal*, 2, 71–77. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234460> [in Ukrainian].
2. Holb, I., Abonyi, F., Buurma, J. & Heijne, B. (2017). On-farm and on-station evaluations of three orchard management approaches against apple scab and apple powdery mildew. *Crop Protection*, 97, 109–118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.023> [in English].
3. Martin, E.A. et al. (2019). Assessing the resilience of biodiversity-driven functions in agroecosystems under environmental change. *Advances in Ecological Research*, 60, 59–123. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/bs.aecr.2019.02.003> [in English].
4. Borzykh, O.I. et al. (2014). *Zakhyst yabluni vid shkidlyvykh komakh, klishchiv ta khvorob (Pivdennyi i Pivdenno-Skhidnyi Step) [Protection of apple trees from harmful insects, mites and diseases (Southern and Southeastern Steppe)]*. Kyiv: Kolobih [in Ukrainian].
5. Shevchuk, I.V., Hrynyk, I.V. & Kalenych, F.S. (2021). *Ahroekolohichni systemy intehrovanoho zakhystu plodovykh i yahidnykh kultur vid shkidnykiv i khvorob: rekomendatsii [Agroecological systems of integrated protection of fruit and berry crops from pests and diseases: recommendations]*. Kyiv: Sansparely [in Ukrainian].

- recommendations*]. Kyiv: PP Sansparel [in Ukrainian].
6. Skoreiko, A.M. (2017). Zakhyst yabluni vid parshi u Zakhidnomu Lisostepu Ukrainy [Protection of apple trees from scab in the Western Forest Steppe of Ukraine]. *Zakhyst i karantyn roslyn — Plant protection and quarantine*, 63, 151–155. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2017.63.151-155> [in Ukrainian].
 7. Lishchuk, A.M., Parfeniuk, A.I., Horodiska, I.M. et al. (2022). Osnovni vazheli upravlinnia ekolohichnyh ryzykamy v ahrotsenozakh [The main levers of environmental risk management in agrocenoses]. *Ahroekolohichniy zhurnal — Agroecological journal*, 2, 74–85. DOI: <https://doi.org/0.33730/2077-4893.2.2022.263320> [in Ukrainian].
 8. Hunchak, M.V., Havryliuk, L.L., Solomiichuk, M.P. & Skoreiko, A.M. (2018). *Biolohichniy metod zakhystu yabluni vid shkidlyvykh orhanizmiv [Biological method of protecting apple trees from harmful organisms]*. Chernivtsi: FOP Varvus V.V. [in Ukrainian].
 9. Borzykh, O., Bublyk, L., Hunchak, M. et al. (2023). Ekotoksykologichni parametry zastosuvannya biopestytysdiv, rozrobka ta adaptatsiia biolohichnykh system zakhystu yabluni vid shkidnykiv ta khvorob do gruntovoklimatychnykh umov ta fitosanitarnoho stanu ahrotsenozu [Ecotoxicological parameters of the use of biopesticides, development and adaptation of biological systems for the protection of apple trees from pests and diseases to soil and climatic conditions and the phytosanitary state of the agrocenosis]. *Fitosanitarna bezpeka — Phytosanitary safety*, 68, 3–26. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.3-26> [in Ukrainian].
 10. Trybel, S.O. (Ed.). (2001). *Metodyky vyprovuvannya i zastosuvannya pestytysdiv [Test procedures and pesticides]*. Kyiv: Svit [in Ukrainian].
 11. Chabaniuk, Ya.V. et al. (2013). *Vyznachennia biolohichnoi efektyvnosti pestytysdiv i ahrokhimikativ: metodychni vkazivky [Determination of biological effectiveness of pesticides and agrochemicals: methodical instructions]*. Kyiv [in Ukrainian].
 12. Kuleshov, A.V., Bilyk, A.M. & Dovgan, S.V. (2011). *Fitosanitarnyi monitorynh i prohnaz: navchalnyi posibnyk [Phytosanitary monitoring and prognosis: training manual]*. Kharkiv: Espada [in Ukrainian].
 13. Shestopal, O.M. (Ed.). (2006). *Metodyka ekonomichnoi ta enerhetychnoi otsinky typiv nasadzhen, sortiv, investytsii v osnovnyi kapital, innovatsii ta rezultativ tekhnolohichnykh doslidzen u sadivnytstvi [Methodology of economic and energy assessment of types of plantations, varieties, investments in fixed capital, innovations and results of technological research in horticulture]*. Kyiv: Instytut sadivnytstva UAAN [in Ukrainian].
 14. Hunchak, M.V. (2018). Ekonomichna efektyvnist riznykh system zakhystu yabluni (*Malus domestica* Borkh.) u Prydnistrovi [Economic efficiency of different systems of apple tree protection (*Malus domestica* Borkh.) in Transdnistria]. *Sadivnytstvo — Horticulture*, 73, 74–81 [in Ukrainian].
 15. Valli, V., Stahl, F. & Feit, E. (2017). Field Experiments. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-05542-8_3-1 [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 05.02.2024

БІОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ (*TRITICUM VULGARE* L.) ЗА ЗБАЛАНСОВАНОСТІ ЦИНКУ ТА МІДІ У СИСТЕМІ «ГРУНТ–РОСЛИНА»

Т.М. Єгорова¹, І.В. Шумигай²

¹ Інститут садівництва НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: egorova_geochem@ukr.net; ORCID: 0000-0038-2148-7738

² Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: innashum27@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0432-2651

У статті зазначено, що роль мікроелементів як чинника формування біохімічних особливостей зернових культур є питанням дискусійним і вкрай малодослідженим. Водночас, екологічне значення збалансованості поживних елементів для нормального функціонування рослин широко висвітлюється у біології та агрономії. Метою дослідження визначено взаємозалежність біохімічних і біогеохімічних особливостей і виявлення впливу біогеохімічної збалансованості Zn і Cu на біохімічні показники пшениці у різних агроландшафтах Лісостепу України. Розроблено оригінальну методику регіональної просторової кореляції між збалансованістю поживних мікроелементів у системі «грунт–рослина» та біохімічними показниками якості рослинної продукції. Просторову кореляцію запроваджено на територіях вирощування пшениці у двох агроландшафтах, а саме, з темно-сірими опідзоленими ґрунтами у Київській обл. та сірих опідзолених ґрунтах у Вінницькій обл. Регіональні особливості поширення Zn і Cu в агроландшафті зазначеної території характеризують їх біогеохімічні форми, що висвітлюють п'ять оціночних характеристик системи у підстильних гірських породах, ґрунтах та зернових культурах. Особливості якості пшениці на території агроландшафтів виявлено за статистичними даними вмісту білка, клейковини та склоподібності. Результатом просторової кореляції зазначених характеристик є виявлення взаємозалежностей біохімічних параметрів харчової якості пшениці й збалансованості Zn, Cu у досліджених агроландшафтах. Охарактеризовані відмінності між особливостями ланок біогеохімічних ланцюгів цинку і міді засвідчують можливість зниження у зерні пшениці склоподібності та білка як результат нестачі цих поживних мікроелементів, навіть в умовах природно-антропогенного їх накопичення у ґрунті. Невідповідність процесів у ґрунтах і агроценозі агроландшафту вказує на доцільність змін ґрунтозахисних систем та агрохімічної меліорації. Особливої уваги потребують дослідження з позакореневого живлення культури пшениці, як чинника підвищення фізичності поживних мікроелементів і відповідного збільшення вмісту білка і склоподібності зерна пшениці.

Ключові слова: мікроелементи, якість продукції, біогеохімія, агроландшафт, просторова кореляція, зернові культури.

ВСТУП

Сільськогосподарським культурам властиві різні рівні їх потреби у поживних мікроелементів (МЕ), а саме певний МЕ має значення «важливе», «життєво важливе» або «ключове». Ці рівні виглядають досить схематично і слабо обґрунтованими. Втім, є єдиними «офіційними» підходами до агрохімічного підживлення мікроелементами зернових культур та кормових трав. Багаторічні агроекологічні й біохімічні дослідження доводять вплив поживних

мікроелементів на більшість фізіологічних процесів як у ґрунті, так і рослинних та тваринних організмах [1–3]. Однак, роль МЕ як чинника у формуванні біохімічних особливостей зернових культур є питанням дискусійним і вкрай малодослідженим. Пшеницю озиму відносять до культур із високими потребами міді і середніми потребами цинку, що визначило зміст кореляції її харчових показників із поширенням цих поживних мікроелементів.

Метою дослідження є визначення впливу біогеохімічної (БГХ) збалансова-

ності Zn і Cu на біохімічні показники якості пшениці в агроландшафтах Лісостепу України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Екологічне значення збалансованості поживних елементів для нормального функціонування рослин широко висвітлюється у біології та агрономії. Цим питанням присвячені розвідки та регіональні узагальнення А. Кабата-Пендіас, П.А. Власюка, В.В. Ковальського, С.Г. Корсун, С.А. Балука, А.І. Фатєєва та ін. [4–7].

Збалансованість поживних елементів посилює захисні властивості культур до несприятливих кліматичних чинників, що є досить актуальним у сучасних умовах змін клімату. Широко доведено фізіологічне значення певних поживних мікроелементів на функціонування агросфери. Наприклад, синтез гумусу і фіксація азоту у ґрунті пов'язані зі вмістом Zn, Cu, Mo; дихання і фотосинтез рослин — із Zn, Cu, Mo; синтез білків і кровотворення у тварин — із Zn, Cu; стійкість зернових культур до окремих інфекційних фітопатологій — із Cu. Натомість, цинк — сприяє азотистому обміну, в результаті чого вміст білка в зерні підвищується; білково-крохмальний комплекс формує склоподібність і відповідну міцність зерна; мідь — впливає на білковий обмін та синтез хлорофілу, а її нестача знижує утримання води рослиною [8–10].

Значення поживних МЕ як ознак якості зерна пшениці розглядається вкрай обмежено. Одне із пояснень такого підходу до харчової якості цієї культури пов'язано з тим, що мікроелементи не входять до числа показників товарної якості зерна пшениці, як і інших сільськогосподарських культур. Новітні агроекологічні дослідження з вирощування зернових культур стосуються переважно впливу на врожайність та інфекційні хвороби культур таких традиційних чинників, як строки сівби, кліматичні зміни, удобрення та хімічні методи боротьби зі шкідниками [9; 11–14].

Біогеохімія і агробіологія розглядають вплив дисбалансу МЕ на біохімію та захво-

рюваність культур, худоби, свійської птиці, населення [8–17].

Встановлено, що життєва необхідність хімічних елементів визначається не скільки їх кількісним умістом в організмі, стільки активністю участі в процесах утворення органічної речовини. БГХ збалансованість поживних мікроелементів посилює захисні властивості культур до несприятливих кліматичних чинників і має розглядатися як важлива ознака якості сільськогосподарської продукції.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методика представлених досліджень передбачає розв'язання питання залежності біохімічних властивостей зерна пшениці від біогеохімічних особливостей агроландшафтів на територіях вирощування культури. Для цього нами розроблено оригінальну методику регіонального просторового аналізу та кореляції харчових властивостей зерна і біогеохімічних ланцюгів поживних мікроелементів у системі «підстильні гірські породи — ґрунти — рослина». Сутність аналізу полягає в оцінюванні регіональних особливостей якості рослинної продукції (вміст білка, клейковини та склоподібність зерна пшениці) й біогеохімічних характеристик поширення цинку і міді у компонентах агроландшафтів (наявність геохімічних аномалій у підстильних гірських породах, напрям ґрунтової міграції і хімічне забруднення ґрунтів, біогеохімічна збалансованість і особливості біофільності у рослинній продукції).

Кількісними характеристиками біохімічних ознак зерна пшениці обрано їх середньостатистичне значення на території області та для України загалом. Кількісними характеристиками біогеохімічних ланцюгів Zn і Cu є їх вміст у ґрунтах і культурах локального агроландшафту; якісними параметрами — кларк концентрації (*KKi*), хімічне забруднення ґрунту відносно гранично допустимій концентрації, біогеохімічна збалансованість у культурі щодо порогових концентрацій, біофільність мікроелементів у культурі стосовно

глобального значення для рослин (Ах) [3; 18].

За складання статистичних вибірок враховувались усі наявні дані статистичних збірників, а саме як для умов природної, так і ефективної родючості ґрунтів. Для порівняльного аналізу кількісних характеристик і параметрів обирались медіани вибірок наявних даних (Me), що є одним із можливих середньостатистичних значень.

Територіями дослідження обрано локальні агроландшафти з темно-сірими опідзоленими ґрунтами у Київській обл. та сірими опідзоленими ґрунтами у Вінницькій обл. Це лісостепові правобережні ландшафти лесових височин з антропогенним покривом на докембрійських та палеозойських породах, перекритих палеоген-неогеновими відкладами, розчленованих ярами та балками, врізаними до кристалічних порід [19].

Аналіз біохімічних властивостей зерна пшениці озимої базується на регіональних даних Державної служби статистики України (для умов природної і ефективної родючості ґрунтів) [20–22]. Кількісно-

якісні параметри біогеохімічних ланцюгів ґрунтуються на регіональних металогенічних характеристиках кристалічних порід Українського щита та локальних матеріалах агрохімічних дослідів у межах Києво-Святошинського р-ну Київської обл. і Вінницького р-ну Вінницької обл. [16; 23; 24].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Оціночні параметри просторового кореляційного аналізу біохімічних характеристик зерна пшениці та біогеохімічних параметрів цинку і міді досліджених агроландшафтів узагальнено у *табл.*

Представлені результати регіонального кореляційного аналізу включають оцінки дев'яти ланок біогеохімічних ланцюгів Zn, Cu, що сполучені із середніми оцінками вмісту білка, клейковини і склоподібності зерна пшениці. На території Лісостепу України зазначені показники якості пшениці є нижчими, ніж для території України загалом. Найбільш знижується склоподібність зерна (у 1,3 раза), менше – вміст білка та клейковина (у 1,1 раза).

Біохімічні та біогеохімічні характеристики зерна пшениці озимої в агроландшафтах Лісостепу

Біохімічні характеристики, у %			Оціночні біогеохімічні параметри Zn (у чисельнику) і Cu (у знаменнику)		
показник якості зерна пшениці	Україна	Лісостеп	металогенічні аномалії у підстильних гірських породах	напрям ґрунтової міграції і БГХ збалансованість ґрунту	напрям біогенної міграції, БГХ збалансованість і відносна біофільність для культури

Агроландшафт лесових височин із сірими опідзоленими ґрунтами (вміст гумусу 1–2%) на неогенових і докембрійських відкладах (Вінницька обл.)

Білок	12,8	11,6	відсутні присутні	концентрація і надлишок	рівновага, нестача і знижена біофільність
Клейковина	29,3	26,0		концентрація і надлишок	розсіювання, нестача і знижена біофільність
Склоподібність	78,5	60,0			

Агроландшафт лесових височин із темно-сірими опідзоленими ґрунтами (вміст гумусу 2–2,1%) на палеогенових і докембрійських відкладах (Київська обл.)

Білок	12,8	12,1	відсутні відсутні	розсіювання і збалансованість	рівновага, нестача і знижена біофільність
Клейковина	29,3	29,0		немає даних	немає даних
Склоподібність	78,5	62,0			

Просторовий кореляційний аналіз дає змогу визначити спільні та відмінні ознаки агроландшафтних систем Лісостепу.

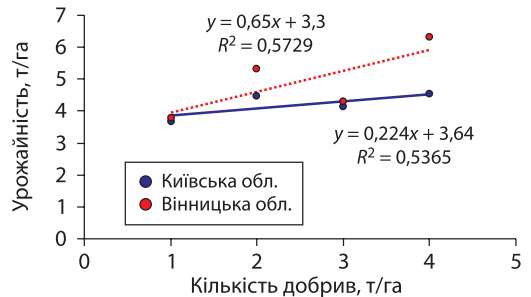
У досліджених агроландшафтах Лісостепу однорідність біогеохімічних ланцюгів цинку визначає відсутність його істотно підвищеного вмісту (на рівні металогенічних аномалій) у підстильних гірських породах та низький вміст у зерні пшениці. Це розкриває наслідки в агроландшафтах таких процесів, як врівноважена біогенна міграція цинку ($KKi = 0,5-1,5$), його біогеохімічна нестача (<20 мг/кг сухої речовини), зниження інтенсивності переходу з ґрунту у рослину ($Ax \leq 10$) та відповідну відсутність хімічного забруднення продукції. Такі процеси здатні негативно впливати на склоподібність і вміст білка у зерні пшениці через порушення обміну азоту.

Неоднорідність біогеохімічних ланцюгів цинку в агроландшафтах визначають процеси його міграції та біогеохімічної збалансованості у ґрунтах. Це концентрація ($KKi \geq 1,5$), біогеохімічний надлишок (>70 мг/кг) і забруднення цинком у межах сірих опідзолених ґрунтів Вінницької обл. та розсіювання ($KKi \leq 0,5$), біогеохімічна збалансованість (30–70 мг/кг) і відсутність забруднення цинком у межах темносірих опідзолених ґрунтів Київської обл. Імовірно, відмінність ґрунтових процесів за однорідності процесів функціонування культури пшениці може вказувати на доцільність змін ґрунтозахисних та ґрунтовідновлювальних систем у напрямі підвищення біофільності цинку як чинника збільшення білка і склоподібності зерна пшениці.

Біогеохімічні ланцюги міді характеризує як просторова, так і внутрішня неоднорідність між окремими ланками. У підстильних гірських породах наявне підвищення вмісту міді у межах Вінницької обл. та його відсутність у Київській обл. Низький вміст міді у зерні пшениці агроландшафту у межах Вінницької обл. виявляють наслідки таких процесів, як біогенне розсіювання ($KKi \leq 0,5$), біогеохімічна нестача ($<0,1$ мг/кг сухої речовини), зниже-

на біофільність ($Ax \leq 2$) і відповідну відсутність хімічного забруднення продукції. Підвищений вміст міді у сірих опідзолених ґрунтах узгоджується із металогенічними особливостями підстильних гірських порід і розкриває наслідки таких процесів, як концентрація ($KKi \geq 1,5$), біогеохімічний надлишок (>60 мг/кг) і забруднення ґрунтів. Відмінності між особливостями ланок БГХ ланцюгів міді свідчать про можливість зниження склоподібності і білка у зерні пшениці як результат нестачі цього поживного мікроелементу, навіть в умовах природно-антропогенного забруднення ґрунтів.

Варто зазначити, що кожен орган рослини концентрує певний МЕ, і рослина буде володіти різним ступенем винесення цього мікроелементу з ґрунту, а це, своєю чергою, залежить від ґрунтових умов та біологічних особливостей рослин. Також було встановлено, що кількість МЕ залежить від віку рослин. Внесення мікродобрив одночасно з посівом або позакореневе підживлення рослин у молодому віці здатне зумовити як покращання його якості, так і підвищення врожайності, що висвітлено на рис.



Кореляційна залежність врожайності пшениці озимої у Лісостепу від внесення добрив

Примітка: розроблена авторами на основі [17].

ВИСНОВКИ

Проведений нами порівняльний аналіз вмісту МЕ засвідчив, що сільськогосподарські рослини, вирощені в різних агроландшафтних умовах, відрізняються незначно.

Водночас, різняться особливості перерозподілу МЕ у системі «грунт–рослина».

Складовою агроекологічного значення поживних мікроелементів є вплив на харчові властивості зернових та інших сільськогосподарських культур. Представлена методика регіонального просторового кореляційного аналізу біогеохімічних і біохімічних характеристик дала можливість виявити взаємозалежність між зниженням якості та низьким вмістом цинку і міді у зерна пшениці на території Лісостепу. Встановлено, що в агроландшафтах із темно-сірими та сірими опідзоленими ґрунтами перерозподіл Zn і Cu не має узгодженості між ланками ґрунт–пшениця. У ґрунтах уміст цих мікроелементів варіює й може відповідати їх концентрації і розсіюванню, біогеохімічному надлишку та збалансованості, хімічному забрудненню

або його відсутності. Для зерна пшениці характерні процеси зниження біофільності Zn і Cu, їх біогеохімічна нестача, розсіювання або рівноважена біогенна міграція.

Визначені відмінності між особливостями ланок біогеохімічних ланцюгів цинку і міді вказують на можливість зниження у зерні пшениці склоподібності й білка як результат нестачі цих поживних мікроелементів, навіть в умовах природно-антропогенного їх накопичення у ґрунті. Невідповідність процесів у ґрунтах і агроценозі агроландшафту визначає доцільність змін ґрунтозахисних та систем агрохімічної меліорації. Особливої уваги потребують дослідження з позакореневого живлення культури пшениці, як чинника підвищення біофільності поживних мікроелементів і відповідного збільшення вмісту білка і склоподібності зерна пшениці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Потреба культур в мікроелементах і винесення мікроелементів. URL: <https://aidamin.com/ua/articles/potrebnyty-kulturny-v-mikroelementah-i-vynos-mikroelementov>.
2. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення (керівний нормативний документ) / за ред. І.П. Ялука, С.А. Балука. Київ, 2019. 108 с.
3. Єгорова Т.М. Агроекологічні системи біогеохімічних ланцюгів поживних елементів. Actual problem of natural sciences: modern scientific discussions: collection monograph. Riga, Latvia-Lublin, Poland: «Baltija Publishing», 2020. P. 35–51. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-025-4-3>.
4. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. Third edition. CRC Press. 2001. 412 p.
5. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / за ред. А.І. Фатєєва, Я.В. Пашенко. Харків: КП Друкарня № 13, 2003. 117 с.
6. Kovalsky V.V. Geochemical ecology and problems of health. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 1979. Vol. 288. P. 185–191. DOI: <http://doi.org/10.1098/rstb.1979.0100>.
7. Власюк П.А. Биологические микроэлементы в жизнедеятельности растений. Киев: Наук. думка, 1992, 144 с.
8. Мікроелементи: друзі і вороги. Як взаємодіють елементи в рослині та що потрібно врахувати агроному? URL: <https://superagronom.com/articles/135-mikroelementi-druzi-i-vorogi-yak-vzayemodiyut-elementi-v-roslini-ta-scho-potribno-vrahuvati-agronomu>.
9. Шувар А.М., Беген Л.Л., Тимків М.Ю., Войтович Р.М. Формування врожаю і якості зерна пшениці озимої залежно від строків сівби та рівня живлення. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2018. Вип. 63. С. 161–173.
10. Показники якості зерна пшениці та фактори, які на них впливають. 2022. URL: <https://www.cherk-consumer.gov.ua/novyny/3737-pokaznyky-iakosti-zerna-pshenytsi-ta-factory-iaki-na-nykh-vplyvayut>.
11. Шумиґай І.В., Конішук В.В., Мороз В.В., Манішевська Н.М. Біогеохімічна, фізіологічна адаптивність пшениці озимої (*Triticum L.*) за впливу важких металів у Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*. 2023. № 1. С. 101–109. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2023.276734>.
12. Умрихін Н.Л., Гайденко О.М., Коршунова Ю.В., Мостіпан Т.В. Показники якості зерна пшениці. Агробізнес. 2021. URL: <http://agro-business.com.ua/ahrarni-kultury/item/21615-pokaznyky-iakostizerna-pshenytsi.html>.
13. Demydov O., Hudzenko V., Pravdziva I. et al. Manifestation and variability level of yield and grain quality indicators in winter bread wheat depending on natural and anthropogenic factors. *Romanian Agricultural Research*. 2022. No. 39. P. 175–185. URL: <https://www.inceda-fundulea.ro/rar/nr39fol/rar39.36.pdf>.
14. Bilgin O., Guzman C., Başer I. et al. Evaluation of grain yield and quality traits of bread wheat genotypes cultivated in Northwest Turkey. *Crop Science*. 2016. Vol. 56. Iss. 1. P. 73–84. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.03.0148>.
15. Домарацький Є.О., Базалій В.В., Бойко М.О., Пічура В.І. Агробіологічне обґрунтування вирощування зернових культур в зоні Степу: моногр. / Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. 334 с.

16. Єгорова Т.М. Екологічна геохімія агроландшафтів України: моногр. Київ: «ДІА», 2018. 264 с.
17. Шумидай І.В., Конішук В.В., Єрмішев О.В. та ін. Екологічна оцінка особливостей вмісту та міграції мікроелементів Cu, Mo, Zn у біогеохімічних, трофічних ланцюгах: метод. реком. Київ: ДІА, 2023. 76 с.
18. Єгорова Т.М., Шумидай І.В., Салсай Т.П. Біогеохімічні ланцюги поживних елементів та система оцінки їх агротехногенних деформацій: метод. реком. / за ред. О.І. Фурдичка. Київ: ТОВ «ДІА», 2020. 26 с.
19. Мартин А.Г., Осипчук С.О., Чумаченко О.М. Природно-сільськогосподарське районування України: моногр. Київ: ЦП «Компринт», 2015. 328 с.
20. Прогноз фітосанітарного стану агроценозів України та рекомендації щодо захисту рослин у 2022 р. / за ред. В.В. Сідляренко, В.Б. Калашнікова. Київ, 2022. 327 с.
21. Сільське господарство України за 2019 р.: статистичний збірник. Київ: Державна служба статистики України, 2020. 235 с.
22. Довідник нормативних показників якості продукції сільськогосподарських культур у різних ґрунтово-кліматичних зонах України (Довідково-нормативна інформація) / за ред. С.А. Балука, М.В. Лісового. Харків: Смуґаста типографія, 2016. 46 с.
23. Корсун С.Г., Голодна А.В., Шляхтуров Д.С., Клименко І.І. Особливості адаптації зернобобових культур до забруднення ґрунту важкими металами. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2016. № 2. С. 69–79.
24. Ткачук О.П. Екологічні засади оптимізації стану агроценозів і ґрунту Центрального Лісостепу: автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук: 03.00.16. Київ, 2018. 44 с.

REFERENCES

1. Potreba kul'tur v mikroelementakh i vnesennya mikroelementiv [The need of cultures in microelements and removal of microelements]. (n.d.). URL: <https://aidamin.com/ua/articles/potrebnosty-kulytur-v-mikroelementah-i-vynos-mikroelementov> [in Ukrainian].
2. Yatsuk, I.P. & Baluk, S.A. (Eds.). (2019). *Metodyka provedennya ahrokhimichnoyi pasportyzatsiyi zemel'sil's'kohospodars'koho pryznachennya (kerivnyy normatyvnyy dokument) [Methodology of agrochemical certification of agricultural lands (guideline normative document)]*. Kyiv [in Ukrainian].
3. Yehorova, T.M. (2020). Ahroekologichni systemy bioheokhimichnykh lantsyuhiv pozhivnykh elementiv [Agroecological systems of biogeochemical chains of nutrient elements]. *Actual problem of natural sciences: modern scientific discussions: collection monograph. Riga, Latvia-Lublin, Poland*. (pp. 35–51). DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-025-4-3> [in Ukrainian].
4. Kabata-Pendias, A. (2001). Trace elements in soils and plants. Third edition [in English].
5. Fateeva, A.I. & Pashchenko, Ya.V. (Eds.). (2003). *Fonovyy vmist mikroelementiv u gruntakh Ukrainy [Background content of trace elements in the soils of Ukraine]*. Kharkiv [in Ukrainian].
6. Kovalsky, V.V. (1979). Geochemical ecology and problems of health. *Philosophical Transactions of the Royal Society B.*, 288, 185–191. DOI: <http://doi.org/10.1098/rstb.1979.0100> [in English].
7. Vlasnyuk, P.A. (1992). *Biologicheskkiye mikroyelementy v zhiznedeyatel'nosti rasteniy [Biological microelements in plant life]*. Kyiv [in Russian].
8. Mikroelementy: druzi i vorohy. Yak vzayemodiyut' elementy v roslyni ta shcho potribno vrakhuvaty ahronomu? [Microelements: friends and enemies. How do the elements in the plant interact and what should the agronomist take into account?]. (n.d.). URL: <https://superagronom.com/articles/135-mikroelementi-druzi-i-vorogi-yak-vzayemodiyut-elementi-v-rosli-ni-ta-scho-potribno-vrakhuvaty-agronomu> [in Ukrainian].
9. Shuvar, A.M., Begen, L.L., Tymkiv, M.Yu. & Voytovych, R.M. (2018). Formuvannya vrozhayu i yakosti zerna pshenytsi ozymoyi zalezho vid strokiv sivby ta rivnya zhvylnyha [Formation of the yield and quality of winter wheat grain depending on the timing of sowing and the level of nutrition]. *Peredhirne ta hirs'ke zemlerobstvo i tvarynytsvo — Foothill and mountain agriculture and animal husbandry*, 63, 161–173 [in Ukrainian].
10. Pokaznyky yakosti zerna pshenytsi ta faktory, yaki na nykh vplyvayut' [Wheat grain quality indicators and factors affecting them]. (2022). URL: <https://www.cherk-consumer.gov.ua/novyny/3737-pokaznyky-iakosti-zerna-pshenytsi-ta-faktory-iaki-na-nykh-vplyvaiut> [in Ukrainian].
11. Shumyhai, I.V., Konishchuk, V.V., Moroz, V.V. & Manishevska, N.M. (2023). Bioheokhimichna, fiziolohichna adaptyvniyt's' pshenytsi ozymoyi (*Triticum* L.) za vplyvu vazhkykh metaliv u Lisostepu Ukrainy [Biogeochemical and physiological adaptability of winter wheat (*Triticum* L.) under the influence of heavy metals in the Forest Steppe of Ukraine]. *Ahroekologichnyy zhurnal — Agroecological journal*, 1, 101–109. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2023.276734> [in Ukrainian].
12. Umrykhin, N.L., Haydenko, O.M., Korshunova, Yu.V. & Mostipan, T.V. (2021). Pokaznyky yakosti zerna pshenytsi [Wheat grain quality indicators]. *Ahrobiznes — Agribusiness*. URL: <http://agro-business.com.ua/ahramni-kultury/item/21615-pokaznyky-iakostizerna-pshenytsi.html> [in Ukrainian].
13. Demydov, O., Hudzenko, V., Pravdziva, I. et al. (2022). Manifestation and variability level of yield and grain quality indicators in winter bread wheat depending on natural and anthropogenic factors. *Romanian Agricultural Research*, 39, 175–185. URL: <https://www.inceda-fundulea.ro/rar/nr39fol/rar39.36.pdf> [in English].

14. Bilgin, O., Guzman, C., Başer, I. et al. (2016). Evaluation of grain yield and quality traits of bread wheat genotypes cultivated in Northwest Turkey. *Crop Science*, 56, 1, 73–84. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.03.0148> [in English].
15. Domaratskyi, E.O., Bazalii, V.V., Boyko, M.O. & Pichura, V.I. (2018). *Ahrobiolohichne obgruntuvannya vyroshchuvannya zernovykh kul'tur v zoni Stepu: monohrafiya [Agrobiological substantiation of the cultivation of grain crops in the Steppe zone: monograph]*. Kherson [in Ukrainian].
16. Yehorova, T.M. (2018). *Ekolohichna heokhimiya ahrolandshaftiv Ukrainy: monohrafiya [Ecological geochemistry of agricultural landscapes of Ukraine: monograph]*. Kyiv [in Ukrainian].
17. Shumyhai, I.V., Konishchuk, V.V., Yermishev, O.V. et al. (2023). *Ekolohichna otsinka osoblyvostey vmistu ta mihratsiyi mikroelementiv Cu, Mo, Zn u bioheokhimichnykh, trofichnykh lantsyuhakh: metodychni rekomendatsiyi [Ecological assessment of the features of the content and migration of microelements Cu, Mo, Zn in biogeochemical, trophic chains: guidelines]*. Kyiv [in Ukrainian].
18. Yehorova, T.M., Shumyhai, I.V., Sapsai, T.P. & Furdychko, O.I. (Ed.). (2020). *Bioheokhimichni lantsyuyi pozhyvnykh elementiv ta systema otsinky yikh ahrotekhnohennykh deformatsiy (metodychni rekomendatsiyi) [Biogeochemical chains of nutrient elements and the system of evaluation of their agrotechnological deformations (methodical recommendations)]*. Kyiv [in Ukrainian].
19. Martyn, A.G., Osypchuk, S.O. & Chumachenko, O.M. (2015). *Pryrodno-sil's'kohospodars'ke rayonuvannya Ukrainy: monohrafiya [Natural and agricultural zoning of Ukraine: monograph]*. Kyiv [in Ukrainian].
20. Sidlyarenko, V.V. & Kalashnikov, V.B. (Eds.). (2022). *Prohroz fitosanitarnoho stanu ahrotsenoziv Ukrainy ta rekomendatsiyi shchodo zakhystu roslyn u 2022 r. [Prognosis of the phytosanitary state of agrocenoses of Ukraine and recommendations for plant protection in 2022]*. Kyiv [in Ukrainian].
21. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. (2020). *Sil'ske hospodarstvo Ukrainy za 2019 rik: Statystychnyi zbirnyk [Agriculture of Ukraine for 2019: Statistical collection]*. Kyiv [in Ukrainian].
22. Balyuk, S.A. & Forest, M.V. (Eds.). (2016). *Dovidnyk normatyvnykh pokaznykiv yakosti produktsiyi sil's'kohospodars'kykh kul'tur u riznykh gruntovo-klimatychnykh zonakh Ukrainy (Dovidkovo-normatyvna informatsiya) [Handbook of normative indicators of the quality of agricultural crops in different soil and climatic zones of Ukraine (Reference and normative information)]*. Kharkiv [in Ukrainian].
23. Korsun, S.G., Holodna, A.V., Shlyakhturov, D.S. & Klymenko, I.I. (2016). Osoblyvosti adaptatsiyi zernobobovykh kul'tur do zabrudnennya gruntu vazhkymy metalamy [Peculiarities of adaptation of leguminous crops to soil contamination with heavy metals]. *Zbirnyk naukovykh prats' NNTS «Instytut zemlerobstva NAAN» — Collection of scientific works of the NSC «Institute of Agriculture of the National Academy of Sciences»*, 2, 69–79 [in Ukrainian].
24. Tkachuk, O.P. (2018). *Ekolohichni zasady optymizatsiyi stanu ahrotsenoziv i gruntu Tsentral'noho Lisostepu [Ecological principles of optimization of the state of agrocenoses and soil of the Central Forest Steppe]*. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 16.01.2024

ВПЛИВ ПРЕПАРАТІВ НА ФОТОСИНТЕТИЧНУ ДІЯЛЬНІСТЬ РОСЛИН ЯЧМЕНЮ ЯРОГО (*HORDEUM VULGARE* L.) ПИВОВАРНОГО НАПРЯМУ ТА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ЗЕРНА

І.В. Безноско¹, Т.М. Горган¹, І.І. Мосійчук¹, О.М. Біленька²

¹ Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: beznoskoirina@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2217-5165

e-mail: tanja.micaela@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8980-7895

e-mail: mii97.dolina@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3830-2912

² Інститут овочівництва і баштанництва НААН

(с. Селекційне, Харківський р-н, Харківська обл., Україна)

e-mail: bilenkaom@gmail.com; ORCID: 0000-0002-4710-6772

Регулятори росту рослин і мікродобрива стимулюють накопичення рослинами хлорофілу, підвищують фотосинтетичну активність хлоропластів, чисту продуктивність фотосинтезу та сприяють посиленню стійкості культур до хвороб. Метою роботи було вивчення впливу препаратів на фотосинтетичну діяльність рослин ячменю ярого сортів Себастьян і Саломі для досягнення належної якості вирощеної продукції. У статті представлені результати, які свідчать, що вміст суми хлорофілів а і b у листках ячменю ярого за дії препаратів Вимпел 2 та ОРАКУЛ мультикомплекс відіграє велику роль у підвищенні продуктивності культури. У всіх варіантах дослідження накопичення білка в зерні було в допустимих межах для ячменю пивоварного (8,75–10,02%), лише у контрольному варіанті лишався занадто низьким. Застосування суміші препаратів сприяло накопиченню крохмалю у зерні ячменю ярого обох досліджуваних сортів. Водночас обробка лише стимулятором росту, або лише мікродобривом стимулює накопичення крохмалю у зерні порівняно з контролем, але залишається на низькому рівні для пивоварної галузі. Найактивніше збільшення асиміляційної поверхні рослин ячменю ярого у всіх фазах росту спостерігали за обробки сумішшю Вимпел 2 у поєднанні з ОРАКУЛОМ мультикомплекс. Проведеними дослідженнями встановлено значний вплив стимулятора росту та мікродобрива на величину фотосинтетичного потенціалу посівів ячменю ярого. За весь період вегетації ячменю ярого, найбільший фотосинтетичний потенціал посівів (ФПП) — 859,2 м²/га × діб визначено у сорту Себастьян із додаванням мікродобрива та стимулятора росту. Найбільший показник чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) спостерігали на сорті Себастьян у варіанті з обробкою сумішшю мікродобрива та стимулятора росту, що на 27% вище, ніж у контрольному варіанті. Отже, зерно ячменю ярого пивоварного значення необхідної якості можна отримати лише за умов оптимальної комбінації застосовуваних препаратів різного спектра дії.

Ключові слова: стимулятор росту, мікродобриво, площа листової поверхні, фотосинтетичний потенціал, чиста продуктивність фотосинтезу, хлорофіл, білок, крохмаль.

ВСТУП

Україна посідає сьоме місце серед провідних світових виробників ячменю за період 2022–2023 рр. Однак, на жаль, у нашій державі генетичний потенціал продуктивності сортів ячменю реалізується лише на 25–30% [1; 2]. На рівень урожайності цієї культури впливають екологічні чинники,

зокрема, абіотичні (контрастні гідротермічні умови) та біотичні (контамінація фітопатогенами) [3; 4]. В агрокліматичних умовах України для ячменю ярого найбільш поширеними і шкідливими є тверда і летюча сажки, жовта, карликова іржа та лійна, або стеблова іржа злаків, кореневі гнилі, плямистості (темно-бура, смугаста, сітчаста плямистість або сітчастий гельмінтоспоріоз, ринхоспоріоз, або облямівкова

плямистість), септоріоз, аскохітоз, гельмінтоспоріоз, альтернاریоз, фузаріоз колоса, борошниста роса. Втрати врожаю в період епіфітотій від основних хвороб можуть досягати 30–60% і більше [5; 6].

Зерно ячменю ярого (*Hordeum vulgare* L.) є невід'ємною сировиною для пивоваріння. Якість зерна залежить від особливостей генотипу сортів, сукупної дії ґрунтово-кліматичних умов, попередників, фази розвитку і тривалості перестоювання посівів [7; 8].

Найціннішими в пивоварінні є сорти дворядного ячменю з добре виповненим і вирівняним зерном (маса 1000 зерен 40–45 г), яке має пониженоу плівчастість (8–10%), підвищений вміст крохмалю за станом не нижче 65% і понижений вміст білка (не більше 8–10%) [9–11]. В останні 10–15 років посилилася увага до продуктів із зерна ячменю у зв'язку з новітніми клінічними, дієтологічними і біохімічними дослідженнями, що були виконані в лабораторіях провідних країн світу [6; 12–15].

У сучасних технологіях вирощування ячменю ярого (*Hordeum vulgare* L.) з метою підвищення врожайності, якості та стресостійкості впроваджують різні методи обробки як насіння, так і рослин, особливо з використанням екологічно безпечних препаратів. Серед найбільш перспективних напрямів новітньої технології в сільському господарстві є застосування численних стимуляторів росту рослин, дія яких призводить до збільшення біомаси і врожайності культур, а також вони виконують захисну функцію за несприятливих погодних умов і посилюють стійкість до хвороб [16].

Тому метою дослідження було вивчення впливу біопрепаратів на фотосинтетичну діяльність рослин сортів ячменю ярого для досягнення належної якості вирощеної продукції.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Ячмінь ярий, особливо пивоварного значення, характеризується підвищеними вимогами до рівня живлення. Це по-

яснюється дуже коротким вегетаційним періодом та швидким засвоєнням поживних речовин. Така особливість пов'язана з інтенсивнішим нагромадженням у ньому органічної речовини за відносно короткий період та слаборозвинутою кореневою системою [16; 17].

На процеси накопичення білка в зерні значною мірою впливають рівні запасів азоту та сірки у тканинах рослини. Азотний метаболізм, своєю чергою, пов'язаний з асиміляційною здатністю фотосинтетичного апарату. Фотосинтетичний апарат також сам по собі є дуже містким резервуаром різних органічних форм азоту, починаючи з хлорофілу й закінчуючи головним ферментом асиміляції [17]. Одним з найбільш динамічних показників фотосинтетичної діяльності рослин є площа листової поверхні. Потужність асиміляційного апарату і тривалість його роботи є вирішальними чинниками продуктивності фотосинтезу, які визначають розміри врожаю та якість зернової продукції [18]. У більшості випадків регулятори росту рослин і мікродобрива стимулюють накопичення рослинами хлорофілу, підвищують фотосинтетичну активність хлоропластів та чисту продуктивність фотосинтезу [18; 19]. Актуальність цього завдання обґрунтовується в роботах Гирки А.Д., Винюкова О.О., Гирки Т.В., Бокун О.І., Кулик А.О., Циганкова В.А., Левішко, А.С., Гуменюк І.І., Ткач Є.Д., Тернового Ю.В., Кравчука Ю.А. [19; 20].

Підживлення азотним добривом пивоварного ячменю має свої особливості. За посилення норм внесення добрива підвищується врожайність культури та збільшується вміст білка в зерні, що погіршує його пивоварну якість і доволі часто автоматично переводить його в категорію фуражного. Крім того, надмірне внесення азотного добрива може спричинити вилягання культури та зростання захворюваності посівів, що висвітлено у працях Оничко В.І., Кузіна В. [6; 7].

За дослідженнями вчених Короткової І.В., Горобця М.В., Чайки Т.О., Шегеди І.М., Починка В. М., Кірізія Д.А. відомо, що більшість мікроелементів є каталізато-

рами, які прискорюють біохімічні реакції, що підвищує стійкість культур до хвороб і несприятливих чинників зовнішнього середовища (низькі й високі температури повітря, посуха) та збільшенню вмісту хлорофілу, покращується фотосинтез, посилюється асиміляційна діяльність всієї рослини [16].

Тому, високотехнологічні господарства поряд із мінеральними добривами застосовують макро- та мікроелементи як каталізатори зростання врожайності і якості продукції. Для пивоварного ячменю важливим елементом, що відіграє важливу роль в азотному живленні і є незамінним для формування врожайності та якості зерна, є сірка. Застосування останнього за вирощування пивоварного ячменю дещо стабілізує вплив інтенсивного використання азотних добрив, викликає збільшення вмісту крохмалю у зернівках, що, своєю чергою, веде до зменшення вмісту загального азоту в зернах пивоварного ячменю [9; 21]. Застосування стимуляторів росту також дає можливість знизити використання мінеральних добрив і пестицидів, що впливає на екологічну безпечність продукції [22–24]. На сьогодні відома велика кількість різноманітних стимуляторів росту, але їхня роль у формуванні врожайності та якості ячменю ярого все ще потребує детального вивчення.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження здійснювали впродовж 2021–2023 рр. на базі тимчасового польового дослідження, що розташований у Сквирській дослідній станції органічного виробництва ІАП НААН (Київська обл.) та у відділі агробіоресурсів та екологічно безпечних технологій у лабораторії біоконтролю агроєкосистем і органічного виробництва ІАП НААН. Схему дослідження закладено рендомізованим способом, яка включала обробку по листку у фазі кущення стимулятором росту рослин Вимпел 2, водний розчин (багатоатомні спирти – $300 \pm 0,3$ г/л; гумінові кислоти – $30 \pm 0,3$ г/л; карбонові кислоти природного походжен-

ня – $3,0 \pm 0,3$ г/л) у нормі 0,5 л/га; комплексним мікродобривом ОРАКУЛ мультикомплекс, розчин (N – 0–36%; P_2O_5 – 0–24; K_2O – 0–24, S – 0–15; CaO – 0–20, Na_2O – 0–4; B – 0–20; Co – 0–2; Cu – 0–15; Mn – 0–15; Mo – 0–15; Zn – 0–15; Fe – 0–15, MgO – 0–15% та Cr, Ni, Ti, Al, Ag, Sr, Se, J – 0–1%) у нормі 1 л/га; сумішшю Вимпел 2 + ОРАКУЛ мультикомплекс та контрольна ділянка – обробка водою.

У дослідженнях використовували рослини ячменю ярого пивоварного напрямку сортів Себастьян («Сейет Плантефоредлінг I/C», Данія) та Саломі («SAATEN Union», Франція).

Визначення сумарного вмісту хлорофілів проводили у свіжому матеріалі фотоелектроколориметричним методом [25]. Дані приладу вносили у формулу та калібрувальний графік. Результати вимірів занотовували та обчислювали концентрацію хлорофілу за формулою:

$$C = (C_1 \cdot E_1) / E, \quad (1)$$

де C – сумарний вміст хлорофілів, мг/мл; C_1 – концентрація стандартного розчину (85 мг на 1 л); E – щільність досліджуваного розчину (обчислюється по барабану приладу); E_1 – щільність стандартного розчину (обраховується по барабану приладу перед початком виміру).

Площу листової поверхні встановлювали лінійним методом із наступним розрахунком за формулою:

$$S = k \cdot l \cdot n, \quad (2)$$

де S – площа листка, cm^2 ; k – середній поправочний коефіцієнт (для ячменю = 0,68); l – довжина листка, см; n – ширина листка у найширшому місці, см.

Фотосинтетичний потенціал (ФП) визначається як добуток середнього працюючого асиміляційного апарату на час його функціонування (тис. $m^2/га \times діб$).

Міжфазний фотосинтетичний потенціал визначали за формулою:

$$ФП = [(L_1 + L_2) / 2] \times T, \quad (3)$$

де $ФП$ – фотосинтетичний потенціал, $m^2/га \times діб$; L_1 і L_2 – площа листової поверхні в певні фази розвитку, тис. $m^2/га$; T – довжина міжфазного періоду, доба.

Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) визначається за формулою Кідда, Веста та Бріггса:

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_2 - B_1}{0,5 \cdot (S_1 + S_2)} \times n, \quad (4)$$

де ЧПФ – чиста продуктивність фотосинтезу, г/м² × добу; B₁ і B₂ – величина сухої біомаси на початку і в кінці облікового періоду відповідно, г/м²; S₁ і S₂ – фотосинтезуюча поверхня рослини на початку і наприкінці облікового періоду відповідно, м²; n – число днів між визначеннями.

За повної стиглості розраховували вміст білка і крохмалю у зерні. Вміст білка та крохмалю встановлювали за допомогою приладу Inframatic 8600 фірми Pertten Instruments (Швеція). Аналіз проб зерна ячменю ярого було виконано у відділі агро-екології і аналітичних досліджень ННЦ «ІЗ НААН».

Для статистичної обробки експериментальних даних використовували однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA, тест Тьюкі). Різниця між контрольними і експериментальними показниками вважалася значною, коли ймовірність різниці становила P<0,05.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За результатами проведених досліджень встановлено, що ступінь позитивного впливу регуляторів росту рослин та мікродобрива на вміст зелених пігментів у листках ячменю ярого залежить від внесення біологічних препаратів (рис. 1).

За результатами досліджень представленими на рис. 1 з'ясовано, що вміст суми хлорофілів a і b у листках ячменю ярого за дії біологічних препаратів змінювався залежно від їх застосування. Так, найвищий вміст хлорофілів a і b було зафіксовано в листках ячменю ярого у варіанті із застосуванням суміші Вимпел 2 та ОРАКУЛ мультікомплекс, що становило 3,07–3,8 мг/мл, а найнижчий у варіантах з обробкою ОРАКУЛ мультікомплекс – 2,92–2,98 мг/мл. Водночас у контрольному варіанті, цей показник сягав 2,15–2,24 мг/мл. Отже, використання біологічних препаратів Вимпел 2 та ОРАКУЛ мультікомплекс позитивно впливає на збільшення хлорофілу у листках рослин ячменю ярого, що відіграє велику роль у підвищенні продуктивності культури. Також відмічено, що показники різнилися залежно від сортових

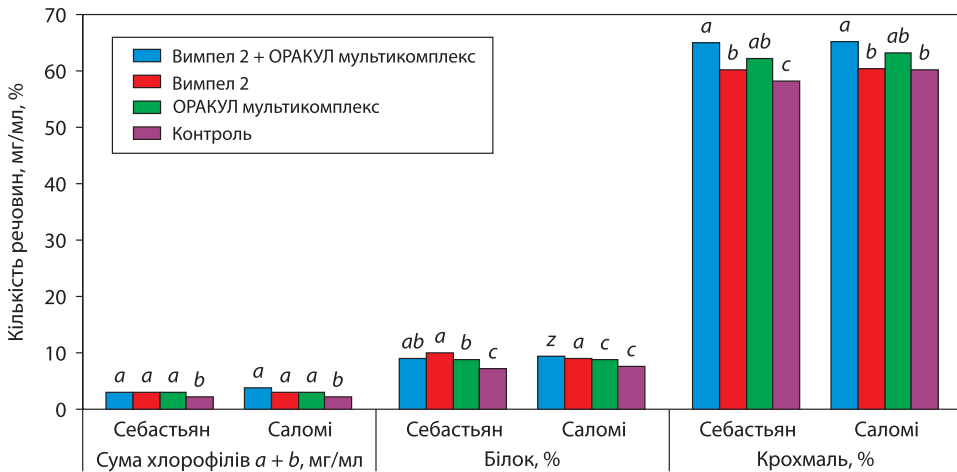


Рис. 1. Вплив мікродобрив і стимулятора росту на вміст фотосинтетичних пігментів у листках ячменю ярого (*Hordeum vulgare* L.) та якісні показники зерна

Примітка: $\bar{x} \pm SD$, Тьюкі тест, n=5 повторів; a, b, c – статистично значущі відмінності кількості мікроорганізмів (P<0,05).

особливостей ячменю ярого. Так, сорт Саломі здатен більше накопичувати зелені пігменти за дії стимулятора росту та мікродобрив порівняно із сортом Себастьян.

Накопичення білка та крохмалю в зерні ячменю ярого один із найважливіших показників для вирощування сортів пивоварного значення. У всіх варіантах дослідження накопичення білка в зерні виявилось в допустимих межах для ячменю пивоварного значення – 8,75–10,02%, лише у контрольному варіанті лишився занадто низьким – 7,15–7,67%. Слід відмітити, що застосування препаратів Вимпел 2 та ОРАКУЛ мультикомплекс у суміші сприяло накопиченню крохмалю у зерні ячменю ярого обох досліджуваних сортів і коливалося в межах 64,95–65,14% (див. *рис. 1*). В той час як обробка лише стимулятором росту, або лише мікродобривом стимулює накопичення крохмалю у зерні порівняно з контролем, але залишається на низькому рівні для пивоварної галузі. Тому доцільніше використовувати ці препарати у комплексі для досягнення кращого результату.

Упродовж вегетаційного періоду проводили виміри листкової поверхні ячменю ярого за дії препаратів. За результатами до-

слідження, встановлено, що застосування позакореневої обробки мікродобривами та стимуляторами росту посівів ячменю ярого позитивно впливало на площу листової поверхні рослин від фази весняного कुщення до колосіння (*рис. 2*).

Найактивніше збільшення асиміляційної поверхні рослин ячменю ярого у всіх фазах росту спостерігали за обробки сумішшю Вимпел 2 у поєднанні з ОРАКУЛОМ мультикомплексом. Показники площі листової поверхні рослини ячменю ярого сорту Саломі протягом вегетації коливалися в межах – 11,24–38,54 тис. м²/га та відповідно – 12,35–38,54 у сорту Себастьян. За обробки стимулятором росту Вимпел 2 площа листової поверхні впродовж вегетаційного періоду варіювала в межах 12,36–37,22 тис. м²/га у сорту Себастьян та 11,56–37,05 тис. м²/га. Слід зазначити, що кращі результати отримані у фазі кущення та виходу у трубку. Застосування мікродобрива ОРАКУЛ мультикомплекс також позитивно вплинуло на збільшення площі листової поверхні 12,23–37,18 тис. м²/га у сорту Себастьян – 11,19–37,18 тис. м²/га. Найменшу площу листової поверхні спостерігали у контрольному варіанті, яка

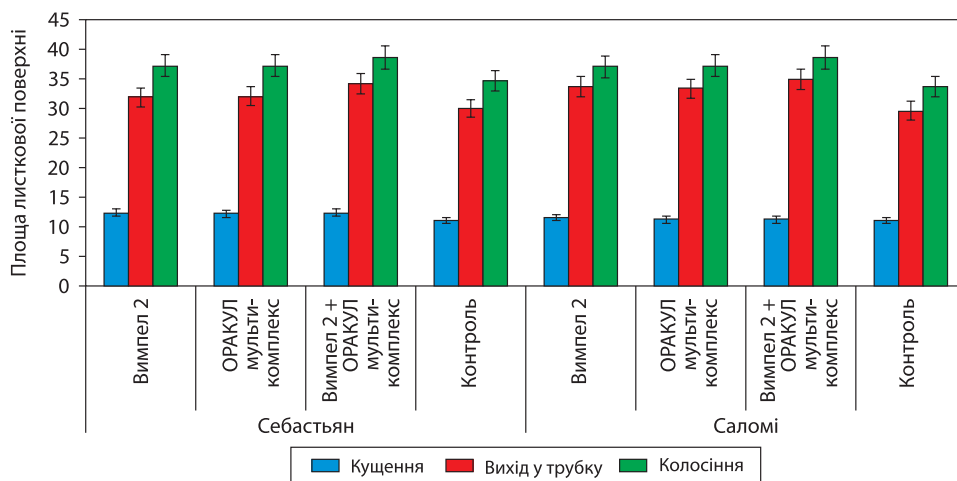


Рис. 2. Площа листової поверхні рослин ячменю ярого залежно від сортових особливостей, мікродобрив та стимулятора росту

Примітка: $x \pm SD$, Тьюкі тест, $n = 5$ повторів; a, b, c – статистично значущі відмінності кількості мікроорганізмів ($P < 0,05$).

була в межах 11,12–34,76 тис. м²/га для сорту Себастьян та 11,09–33,76 тис. м²/га для сорту Саломі, впродовж вегетації рослин.

Важливим чинником впливу на формування врожаю зернових культур є фотосинтетична діяльність, яка визначається розмірами асиміляційного апарату й тривалістю його роботи. Проведеними дослідженнями встановлено значний вплив мікродобрив та стимуляторів росту на величину фотосинтетичного потенціалу посівів ячменю ярого.

Загалом, за вегетацію ФПП підвищувався на обох сортах за поєднання мікродобрива та стимулятора росту. За весь період вегетації ячменю ярого найбільший фотосинтетичний потенціал посівів (ФПП) – 859,2 м²/га × діб був у сорту Себастьян у варіанті з додаванням мікродобрива та стимулятора росту (табл. 1).

Найнижчий ФПП сорту Себастьян спостерігали за використання ОРАКУЛ мультікомплекс – 820,3 м²/га × діб. Збільшення ФПП рослин ячменю ярого сорту Себастьян порівняно з контролем становило близько у 1,09–1,5 раза.

ФПП у сорту Саломі у варіанті з поєднанням мікродобрива та стимулято-

ра росту збільшився на 10% порівняно з контролем. Найнижчий ефект впливу препаратів на ФПП також спостерігали у варіанті з ОРАКУЛ мультікомплексом – 820,5 м²/га × діб.

Встановлено, що обробка препаратами: Вимпелом 2, ОРАКУЛ мультікомплекс та сумішшю цих препаратів по листку посилювало формування асиміляційного апарату. Вважаємо за доцільне, дослідження у цьому напрямі продовжувати та поглиблювати у зв'язку з появою нових сортів, препаратів й зміною кліматичних і ґрунтових умов.

Якісна робота листового апарату рослин визначається чистою продуктивністю фотосинтезу (ЧПФ). Його визначення у посівах ячменю ярого, вирощеного за обробки стимуляторами росту та мікродобривами, дає можливість стверджувати, що між цим показником і фотосинтетичним потенціалом посіву існує пряма залежність.

Найбільший показник ЧПФ спостерігали на сорті Себастьян у варіанті з обробкою сумішшю мікродобрива та стимулятора росту – 13,0 г/м² за добу, що на 27% вище, ніж у контрольному варіанті (табл. 2).

Таблиця 1. Фотосинтетичний потенціал ячменю ярого залежно від сортових особливостей, мікродобрив та стимулятора росту

Сорт	Варіанти	Фотосинтетичний потенціал, м ² /га × діб			
		кущениця	вихід у трубку	колосіння	сума за вегетацію
Себастьян	Вимпел 2	123,8 (ab)	323,7 (b)	373,6 (ab)	821,1 (b)
	ОРАКУЛ мультікомплекс	123,1 (ab)	325,3 (b)	371,9 (ab)	820,3 (b)
	Вимпел 2 + ОРАКУЛ мультікомплекс	126,8 (a)	345,2 (a)	397,2 (a)	859,2 (a)
	Контроль	111,6 (b)	304,8 (c)	348,3 (b)	754,7 (c)
Саломі	Вимпел 2	117,8 (b)	338,1 (ab)	372,3 (ab)	829,2 (ab)
	ОРАКУЛ мультікомплекс	112,0 (c)	336,6 (ab)	371,9 (ab)	820,5 (b)
	Вимпел 2 + ОРАКУЛ мультікомплекс	112,7 (c)	350,9 (a)	396,2 (a)	849,8 (a)
	Контроль	110,5 (c)	297,2 (c)	337,9 (c)	745,6 (c)

Примітка: $x \pm SD$, Тьюкі тест, $n = 5$ повторів; a, b, c – статистично значущі відмінності кількості мікроорганізмів ($P < 0,05$).

Таблиця 2. Показники ЧПФ ячменю ярого залежно від сортових особливостей, мікродобрив та стимулятора росту

Сорт	Варіанти	ЧПФ, г/м ² за добу			
		кущення	вихід у трубку	колосіння	середнє за вегетацію
Себастьян	Вимпел 2	10,2 (a)	12,0 (ab)	13,1 (ab)	11,8 (ab)
	ОРАКУЛ мульतिकомплекс	9,9 (ab)	11,6 (ab)	12,0 (b)	11,2 (b)
	Вимпел 2 + ОРАКУЛ мульतिकомплекс	10,9 (a)	13,2 (a)	14,8 (a)	13,0 (a)
	Контроль	7,5 (c)	9,8 (c)	11,3 (c)	9,5 (c)
Саломі	Вимпел 2	9,4 (ab)	11,1 (b)	12,1 (b)	10,9 (b)
	ОРАКУЛ мульतिकомплекс	8,2 (b)	10,5 (b)	11,7 (b)	10,1 (c)
	Вимпел 2 + ОРАКУЛ мульतिकомплекс	10,1 (a)	12,9 (a)	13,9 (a)	12,3 (a)
	Контроль	7,2 (c)	9,3 (c)	10,9 (c)	9,1 (c)

Примітка: $x \pm SD$, Тьюкі тест, $n = 5$ повторів; *a, b, c* – статистично значущі відмінності кількості мікроорганізмів ($P < 0,05$).

На сорті Саломі спостерігали подібну залежність варіант із сумішшю мікродобрив та стимулятора росту виявив найвищий показник ЧПФ – 12,3 г/м² за добу, що на 23% вище, ніж у контрольному варіанті.

Дослідженнями встановлено можливість управління формуванням показників фотосинтетичного потенціалу посівів ячменю ярого. Обробка стимуляторами росту та мікродобривами сприяє значному підвищенню показників ФПП і ЧПФ. Ці показники різнилися також залежно від сортових особливостей культури.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що біологічний препарат Вимпел 2 у поєднанні з ОРАКУЛ мульतिकомплекс позитивно впливає на збільшення хлорофілу у листках рослин ячменю ярого, що має важливе значення у підвищенні продуктивності культури. Досліджувані показники (хлорофіли *a* і *b*, білок, крохмаль, площа листової поверхні, ФПП та ЧПФ) різняться залежно від сортових особливостей ячменю ярого. Сорт Саломі більше накопичує зелені пігменти

за дії стимулятора росту та мікродобрив порівняно із сортом Себастьян. У фазі кущення та виходу у трубку сорт Саломі активніше нарощує листову масу порівняно з сортом Себастьян, але у фазі колосіння показники вирівнюються. Ці препарати впливають на накопичення білка в зерні ячменю ярого. Більшу кількість білка накопичує зерно сорту Саломі порівняно із сортом Себастьян у поєднанні препаратів Вимпел 2 та ОРАКУЛ мульतिकомплекс. Вміст крохмалю, у зерні ячменю ярого пивоварного за сумісної обробки досліджуваними препаратами сягає від 64,95% (сорт Себастьян) до 65,14% (сорт Саломі). Протягом вегетаційного періоду ФПП та ЧПФ підвищується на обох сортах за поєднання мікродобрива та стимулятора росту. Отже, зерно ячменю ярого пивоварного значення необхідної якості можна отримати лише за умов оптимальної комбінації використання агротехнічних прийомів (поєднанні препаратів різного спектра дії) та оптимального підбору сортів із використанням напрацьованих наукових підходів і результатів досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

- Sadenova M., Kulenova N., Gert S., Beisekenov N. and Levin E. Innovative Approaches for Improving the Quality and Resilience of Spring Barley Seeds: The Role of Nanotechnology and Phytopathological Analysis. *Plants*. 2023. Vol. 12(22). P. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12223892>.
- Кузіна В. Вплив погодних факторів на ефективність виробництва пивоварного ячменю. *Галицький економічний вісник*. Тернопіль: ТНТУ. 2020. Т. 6. № 67. С. 7–17. DOI: https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2020.06.007.
- Моспійчук І.Г., Гаврилюк Л.В., Безноско І.В., Туровнік Ю.А. Вплив біопрепаратів Вимпел 2, Оракул мультікомплекс та їх суміші на рослини ячменю ярого (*Hordeum L.*) різних сортів. *Агро-екологічний журнал*. 2023. № 2. С. 91–99. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2023.283701>.
- Тищенко М.В., Мороз О.В., Смірних В.М. та ін. Використання мікроелементного препарату «Аватар» за вирощування ячменю ярого в польовій сівозміні. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 3. С. 32–38. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VPDAA_2018_3_7.
- Біловус Г.Я., Терлецька М.І., Лісова Ю.А. та ін. Сорти ячменю озимого з груповою стійкістю до листових хвороб для Західного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 1 (838). С. 22–29. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202301-03>.
- Оничко В.І., Бердін С.І., Коваленко І.М. Вплив азотного живлення на поширення і розвиток хвороб ячменю ярого в Північно-Східному Лісостепу України. *Вісник Сумського національного аграрного університету: науковий журнал. Сер.: Агронімія і біологія*. 2018. Вип. 3 (35). С. 57–64. DOI: <http://hero.snau.edu.ua/handle/123456789/6558>.
- Кузіна В. Технологія ефективного виробництва ячменю пивоварного призначення. *Іноваційна економіка*. 2021. № (1–2). С. 94–101. DOI: <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2021.1-2.13>.
- Солонечна О.В., Рябчун В.К., Музафарова В.А. Генетичне різноманіття зразків ячменю ярого за цінними господарськими ознаками. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 11 (836). С. 19–24. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202211-03>.
- Liu Y., Qiu J., Yue Y. et al. Dietary black-grained wheat intake improves glycemic control and inflammatory profile in patients with type 2 diabetes: a randomized controlled trial. *Therapeutic and Clinical Risk Management*. 2018. Vol. 14. P. 247–256. DOI: <https://doi.org/10.2147/TCRM.S151424>.
- ДСТУ 3769-98. Ячмінь. Технічні умови. З Поправкою (ІПС № 6–99). [Чинний від 1998.07.01]. Вид. офіц. Київ: Державний стандарт України. 18 с.
- Ульянченко О.В., Кузіна В.Ю. Управління пивоварною якістю ячменю в Україні: досвід світових компаній. *Вісник ХНАУ ім. В.В. Докучаєва. Сер.: Економічні науки*. 2020. № 2. С. 33–45. DOI: <https://doi.org/10.31359/2312-3427-2020-2-33>.
- Idehen E., Tang Y. and Sang Sh. Bioactive phytochemicals in barley. *J. of Food and Drug Analysis*. 2017. Vol. 25. P. 148–161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.08.002>.
- Krzysztoforska K., Mirowska-Guzel D. and Widy-Tyszkiewicz E. Pharmacological effects of protocatechuic acid and its therapeutic potential in neurodegenerative diseases: Review on the basis of *in vitro* and *in vivo* studies in rodents and humans. *Nutr. Neurosci.* 2019. Vol. 22. P. 72–82. DOI: <https://doi.org/10.1080/1028415X.2017.1354543>.
- Awasthi R., Bhandari K. and Nayyar N. Temperature stress and redox homeostasis in agricultural crops. *Front. Environ.* 2015. Vol. 3. P. 11. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00011>.
- Катрій В.Б., Рибалка О.І., Моргун Б.В. Фізіолого-біохімічні та генетичні особливості ячменю як продукту функціонального харчування. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. № 53 (6). С. 463–483. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2021.06.463>.
- Короткова І.В., Горобець М.В., Чайка Т.О. Вплив стимуляторів росту на продуктивність сортів ячменю ярого. *Scientific Progress and Innovations*. 2021. Vol. 2. P. 20–30. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.02>.
- Шегеда І.М., Починок В.М., Кірізіій Д.А., Маменко Т.П. Вплив умов азотного живлення на фотосинтез, продуктивність і білковість зерна озимої пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2018. № 50 (2). С. 105–114. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/FBKR_2018_50_2_4.
- Рожков А.О., Гутянський Р.А. Динаміка формування площі листя рослин ячменю ярого залежно від впливу норми висіву та позакореневих підживлень. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2017. № 4. С. 32–37. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2017.04.05>.
- Гирка А.Д., Винюков О.О., Гирка Т.В. та ін. Ефективність вирощування пшениці озимої залежно від системи обробітку ґрунту та сівби. *Зернові культури*. 2019. Т. 3. № 1. С. 61–67.
- Левішко А.С., Гуменюк І.І., Ткач Є.Д. та ін. Ефективність комплексного мікробного препарату для вирощування вівса та ячменю ярого. *Агро-екологічний журнал*. 2023. № 3. С. 96–103. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2023.287768>.
- Мамедова Е.І. Вплив агротехнологічних заходів вирощування на формування надземної маси рослин ячменю ярого в умовах північного степу України. *Зернові культури*. 2018. Т. 2. № 1. С. 61–66. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0008>.
- Гораш О.С., Климишена Р.І. Залежність солодової властивості ячменю від впливу позакореневого підживлення рослин мікродобривами. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 115. С. 24–32. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.115.4>.
- Khafagy M. A.-M., Zain Al-A. A. H. M., Farouk S. and Amrajaa H.K. Effect of pre-treatment of barley Grain on germination and seedling growth under drought stress. *Advances in Applied Sciences*. 2017. Vol. 2(3). P. 33–42. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.aas.20170203.12>.

24. Yakhin O.I., Lubyarov A.A., Yakhin I.A. and Brown P.H. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Frontiers in plant science*. 2017. Vol. 7. P. 2049. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>.
25. Колесніков М.О. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Фізіологія польових культур». Мелітополь: ТДАТУ, 2019. 16 с.

REFERENCES

1. Sadenova, M., Kulenova, N., Gert, S., Beisekenov, N. & Levin, E. (2023). Innovative Approaches for Improving the Quality and Resilience of Spring Barley Seeds: The Role of Nanotechnology and Phytopathological Analysis. *Plants*, 12 (22), 1–19. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12223892> [in English].
2. Kuzina, V. (2020). Vplyv poghodyhnykh faktoriv na efektyvnist' vyrobnyctva pyvovarnogho jachmenju [The influence of weather factors on the efficiency of malting barley production]. *Ghalyckyy ekonomichnyy visnyk — Galician economic bulletin*, 6, 67, 7–17. DOI: https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2020.06.007 [in Ukrainian].
3. Mosijchuk, I.I., Ghavryljuk, L.V., Beznosko, I.V. & Turovnik, Ju.A. (2023). Vplyv biopreparativ Vypel 2, Orakul mul'tykompleks ta jikh sumishi na roslyny jachmenju jarogho (*Hordeum* L.) riznykh sortiv [The influence of biological preparations Vimpel 2, Oracle multicomplex and their mixtures on plants of spring barley (*Hordeum* L.) of different varieties]. *Aghroekologichnyy zhurnal — Agroecological journal*, 2, 91–99. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2023.283701> [in Ukrainian].
4. Tyshhenko, M.V., Moroz, O.V., Smirnykh, V.M. et al. (2018). Vykorystannja mikroelementnogho preparatu «Avatar» za vyroshhuvannja jachmenju jarogho v pol'ovij sivozmini [Use of trace element drug «Avatar» for growing spring barley in the field crop rotation]. *Visnyk Poltav's'koi derzhavnoi aghrarnoi akademiji — Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 3, 32–38. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VPDAA_2018_3_7 [in Ukrainian].
5. Bilovus, Gh.Ja., Terlecjka, M.I., Lisova, Ju.A. et al. (2023). Sorty jachmenju ozymogho z ghrupovuju stijkistju do lystkovykh khvorob dlja Zakhidnogho Lisostepu [Varieties of winter barley with group resistance to foliar diseases for the Western Forest Steppe]. *Visnyk aghrarnoi nauky — Bulletin of agricultural science*, 1 (838), 22–29. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202301-03> [in Ukrainian].
6. Onychko, V.I., Berdin, S.I. & Kovalenko, I.M. (2018). Vplyv azotnogho zhylvlennja na poshyrennja i rozvytok khvorob jachmenju jarogho v pivnichnoskhidnomu Lisostepu Ukrajinu [The influence of nitrogen nutrition on the spread and development of diseases of spring barley in the northeastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk Sums'kogo nacional'nogho aghrarnogho universytetu: naukovyj zhurnal. Seriya: Aghronomija i biologija — Bulletin of the Sumy National Agrarian University: scientific journal. Series: Agronomy and biology*, 3 (35), 57–64. DOI: <http://repo.snau.edu.ua/handle/123456789/6558> [in Ukrainian].
7. Kuzina, V. (2021). Tekhnologija efektyvnogho vyrobnyctva jachmenju pyvovarnogho pryznachennja [Technology of efficient production of barley for brewing purpose]. *Innovacijna ekonomika — Innovative economy*, (1–2), 94–101. DOI: <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2021.1-2.13> [in Ukrainian].
8. Solonechna, O.V., Rjabchun, V.K. & Muzafarova, V.A. (2022). Ghenetyчне riznomanittja zrazkiv jachmenju jarogho za cinnymy ghospodars'kymy oznakamy [Genetic diversity of spring barley samples for valuable economic traits]. *Visnyk aghrarnoi nauky — Bulletin of Agrarian Science*, 11 (836), 19–24. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202211-03> [in Ukrainian].
9. Liu, Y., Qiu J., Yue, Y. et al. (2018). Dietary black-grained wheat intake improves glycemic control and inflammatory profile in patients with type 2 diabetes: a randomized controlled trial. *Therapeutic and Clinical Risk Management*, 14, 247–256. DOI: <https://doi.org/10.2147/TCRM.S151424> [in English].
10. Jachminj. Tekhnichni umovy. Z Popravkoju (IPS 6–99) [Barley. Specifications. With Amendment (IPS No. 6–99)]. (1998). *DSTU 3769-98 from 1st July 1998*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
11. Ul'janchenko, O.V. & Kuzina, V.Ju. (2020). Upravlinnja pyvovarnuju jakistju jachmenju v Ukrajinu: dosvid svitovykh kompanij [Management of brewing quality of barley in Ukraine: experience of world companies]. *Visnyk KhNAU im. V.V. Dokuchajeva. Serija: Ekonomichni nauky — Bulletin of the KHNAU named after V.V. Dokuchaeva. Series: Economic Sciences*, 2, 33–45. DOI: <https://doi.org/10.31359/2312-3427-2020-2-33> [in Ukrainian].
12. Idehen, E., Tang, Y. & Sang, Sh. (2017). Bioactive phytochemicals in barley. *J. of Food and Drug Analysis*, 25, 148–161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.08.002> [in English].
13. Krzysztoforska, K., Mirowska-Guzel, D. & Widy-Tyszkiewicz, E. (2019). Pharmacological effects of protocatechuic acid and its therapeutic potential in neurodegenerative diseases: Review on the basis of in vitro and in vivo studies in rodents and humans. *Nutr. Neurosci*, 22, 72–82. DOI: <https://doi.org/10.1080/1028415X.2017.1354543> [in English].
14. Awasthi, R., Bhandari, K. & Nayyar, H. (2015). Temperature stress and redox homeostasis in agricultural crops. *Front. Environ.*, 3, 11. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00011> [in English].
15. Katrij, V.B., Rybalka, O.I. & Morghun, B.V. (2021). Fiziologho-biokhimichni ta ghenetychni osoblyvosti jachmenju jak produktu funkcional'nogho kharchuvannja [Physiological, biochemical and genetic features of barley as a product of functional nutrition]. *Fiziologija roslyn i ghenetyka — Physiology of plants and genetics*, 53 (6), 463–483. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2021.06.463> [in Ukrainian].

16. Korotkova, I.V., Ghorobecj, M.V. & Chajka, T.O. (2021). Vplyv stymuljatoriv rostu na produktyvnistj sortiv jachmenju jarogho [The influence of growth stimulants on the productivity of spring barley varieties]. *Scientific Progress and Innovations*, 2, 20–30. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.02> [in Ukrainian].
17. Shegheda, I.M., Pochynok, V.M., Kirizij, D.A. & Mamenko, T.P. (2018). Vplyv umov azotnogho zhyvlennja na fotosyntezy, produktyvnistj i bilkovistj zerna ozymoju pshenyca [Influence of nitrogen nutrition conditions on photosynthesis, productivity and protein content of winter wheat grain]. *Fyzyologhija rastenyj y ghenetyka — Physiology of plants and genetics*, 50 (2), 105–114. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/FBKR_2018_50_2_4 [in Ukrainian].
18. Rozhkov, A.O. & Ghutjanskyj, R.A. (2017). Dynamika formuvannja ploshhi lystja roslyn jachmenju jarogho zalezno vid vplyvu normy vysivu ta pozakorenyvykh pidzhyvlenj [Dynamics of leaf area formation of spring barley plants depending on the influence of sowing rate and foliar fertilization]. *Visnyk Poltavjskoho derzhavnoho aghrarnoho akademiji — Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 4, 32–37 [in Ukrainian].
19. Ghyrka, A.D., Vynjukov, O.O., Ghyrka, T.V. et al. (2019). Efektyvnistj vyroshhuvannja pshenyca ozymoju zalezno vid systemy obrobitku gruntu ta sivby [The efficiency of growing winter wheat depending on the system of tillage and sowing]. *Zernovi kuljтуры — Cereal crops*, 3 (1), 61–67 [in Ukrainian].
20. Levishko, A.S., Ghumenjuk, I.I., Tkach, Je.D. et al. (2023). Efektyvnistj kompleksnogho mikrobnogho preparatu dlja vyroshhuvannja vsva ta jachmenju jarogho [Effectiveness of a complex microbial preparation for growing oats and spring barley]. *Aghroekologhichnyj zhurnal — Agroecological journal*, 3, 96–103. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2023.287768> [in Ukrainian].
21. Mamjedova, E.I. (2018). Vplyv aghrotekhnologhichnykh zakhodiv vyroshhuvannja na formuvannja nadzemnoji masy roslyn jachmenju jarogho v umovakh pivnichnogho stepu Ukrajinj [The influence of agrotechnological cultivation measures on the formation of above-ground mass of spring barley plants in the conditions of the northern steppe of Ukraine]. *Zernovi kuljтуры — Cereal crops*, 2 (1), 61–66. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0008> [in Ukrainian].
22. Ghorash, O.S. & Klymysheva, R.I. (2020). Zalezhnistj solodovoju vlastyvoju jachmenju vid vplyvu pozakorenyvykh pidzhyvlenja roslyn mikrodoberyvamy [Dependence of the malting properties of barley on the effect of foliar feeding of plants with microfertilizers]. *Tavrijskyj naukovyj visnyk — Tavriysk Scientific Bulletin*, 115, 24–32. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.115.4> [in Ukrainian].
23. Khafagy, M.A.-M., Zain, Al-A. A. H.M., Farouk, S. & Amrajaa, H.K. (2017). Effect of pre-treatment of barley Grain on germination and seedling growth under drought stress. *Advances in Applied Sciences*, 2 (3), 33–42. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.aas.20170203.12> [in English].
24. Yakhin, O.I., Lubyjanov, A.A., Yakhin, I.A. & Brown, P.H. (2017). Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Frontiers in plant science*, 7, 2049. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049> [in English].
25. Kolesnikov, M.O. (2019). *Metodychni vkazivky do praktychnykh zanjatj z dyscypliny «Fiziologhija poljovykh kuljтур» [Methodical instructions for practical classes in the discipline «Physiology of field crops»]. Melitopolj: TDATU [in Ukrainian].*

Стаття надійшла до редакції журналу 25.01.2024

РОСТОВІ ПРОЦЕСИ ПШЕНИЦІ ТВЕРДОЇ (*TRITICUM DURUM* DEST.) НА ГРАДІЄНТІ КОНЦЕНТРАЦІЇ ФОРМАЛЬДЕГІДУ У МІКРОКОСМНИХ МОДЕЛЯХ

О.В. Мудрак¹, Т.В. Морозова²

¹ КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти» (м. Вінниця, Україна)
e-mail: ov_mudrak@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1776-6120

² Національний транспортний університет (м. Київ, Україна)
e-mail: tetiana.morozova@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4836-1035

За сучасних умов на тлі воєнного вторгнення РФ в Україну відбувається зростання загроз екологічній безпеці держави, зокрема внаслідок порушення технологічного режиму функціонування численних потенційно небезпечних об'єктів. Особливу увагу слід приділити таким домішкам, як завислі речовини (аерозолі, пил), монооксид вуглецю, двоокис азоту, формальдегід, концентрації яких у повітрі останнім часом стрімко збільшуються. Формальдегід — один із найвідоміших забруднювачів повітря, який є постійним компонентом атмосфери. Середній вміст формальдегіду в повітрі по місцях України у довосній період перевищував гранично допустиму концентрацію. Його значне зростання істотно залежить від метеорологічних умов. Порівняно з іншими домішками проявляється чітка сезонна динаміка зі збільшенням концентрації в літній період. Хід місячних концентрацій формальдегіду змінюється залежно від температури повітря й інтенсивності прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню. У статті здійснено узагальнення наукових даних щодо особливостей впливу формальдегіду на ростові процеси *Triticum durum* Dest. Фітотестування здійснювали шляхом формування мікрокультиваторів і висаджування в них каліброваних насінин пшениці сорту Фаворит. Предметом дослідження слугували колеоптилі — модельні об'єкти, чутливі до впливу екзогенних чинників, відокремлені від тридобових етильованих проростків. На основі застосування методу мікрокосмних моделей показано інгібування росту надземної частини проростків *T. durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду, яка впливає на швидкість проросту колеоптилів. Встановлено, що із підвищенням концентрації природних колеоптилів зменшується. Обґрунтовано, що значення ефективної концентрації (EC50) становить 0,875 ГДК. Визначено інгібування проростання насіння *T. durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду за впливу всіх досліджених концентрацій. Найменший відсоток пророслого насіння (5,6%) виявлено за концентрації, що відповідає гранично допустимій. Реакція насіння пшениці на концентрацію формальдегіду, що відповідає 0,1 ГДК і 2 ГДК виявилася практично однаковою (28,6% і 30,3%, відповідно). Найбільший відсоток проростання насіння (82,2%) відмічено за впливу формальдегіду у концентрації, на рівні 0,5 ГДК.

Ключові слова: фітотоксичність, колеоптилі, зародкові корінці, аерогенне забруднення, фітотестування.

ВСТУП

За сучасних умов на тлі воєнного вторгнення РФ в Україну зростають загрози екологічній безпеці держави, зокрема внаслідок порушення технологічного режиму функціонування численних потенційно небезпечних об'єктів. Антропогенне забруднення компонентів довкілля і екоцид зумовлюють необхідність санітарно-гігієнічного і біологічного моніторингу екзогенних токсикантів. Особливу увагу

приділяють завислим речовинам (аерозолі, пил), сполукам Нітрогену і формальдегіду, концентрації яких у повітрі стрімко збільшуються. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), середній вміст формальдегіду в повітрі урбоєкосистем коливається від 0,001 до 0,02 мг/м³, у випадку інтенсивного автомобільного руху чи несприятливих метеорологічних умов для розсіювання (приземні інверсії, високі температури повітря) її вміст може досягати 0,1 мг/м³ [1]. Аналіз інтерактивних даних

щодо концентрації формальдегіду в повітрі м. Києва, показав значне перевищення його гранично допустимої концентрації (ГДК).

Каліфорнійським природоохоронним агентством (Cal/EPA) формальдегід, або метаналь визнаний токсичною речовиною, Агентством із захисту навколишнього середовища США (U.S. EPA) – канцерогенною. Формальдегід посилює токсичну дію метанолу (метилового спирту) при отруєнні. Відповідно до біолого-фізико-хімічної класифікації він вважається токсичною речовиною другого класу небезпеки, його гігієнічні нормативи в повітрі становлять: максимально разова гранично допустима концентрація (ГДК м.р.) – 0,035 мг/м³; середньої добова гранично допустима концентрація (ГДК с.д.) – 0,003 мг/м³ [2].

Мета роботи – з’ясування особливостей ростових процесів *T. durum* Des. на градієнті концентрації формальдегіду.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Важливим завданням у системі екологічного моніторингу є отримання достовірної й об’єктивної інформації про якість навколишнього середовища та стан біоти. Останнім часом одним із стабільних забруднювачів повітря міст є формальдегід [3], високі концентрації якого стають

серйозною проблемою [4]. Це постійний компонент атмосфери та один із найвідоміших забруднювачів складників довкілля. У циклі окиснення метанолу і загалом переробки палива він є проміжною речовиною (рис. 1).

Його середній уміст у повітрі істотно залежить від метеорологічних умов. Хід місячних концентрацій формальдегіду змінюється залежно від температури повітря й інтенсивності прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, зокрема, проявляється чітка сезонна динаміка зі збільшенням концентрації в літній період. Формальдегід належить до атмосферних забруднювачів, що надходять у повітря від значної кількості різноманітних джерел. Основними джерелами викидів є автомобільний транспорт, фотохімічні реакції і процеси перетворення CH₄, CH₃OH, HCO₂H, CH₄-xCl_x [1; 4–7], деревообробна промисловість. Формальдегід використовується і виділяється у довкілля під час виготовлення фанери, пресованої деревини, деревостружкової плити (ДСП), дрібнодисперсної фракції дерева (ДФД). Він є мономером у поліконденсаційних полімерах – як-от фенол-, меламін- і казеїнформальдегідні смоли.

Формальдегід дуже поширений і в житлових приміщеннях (меблі, ДСП, полімерні,

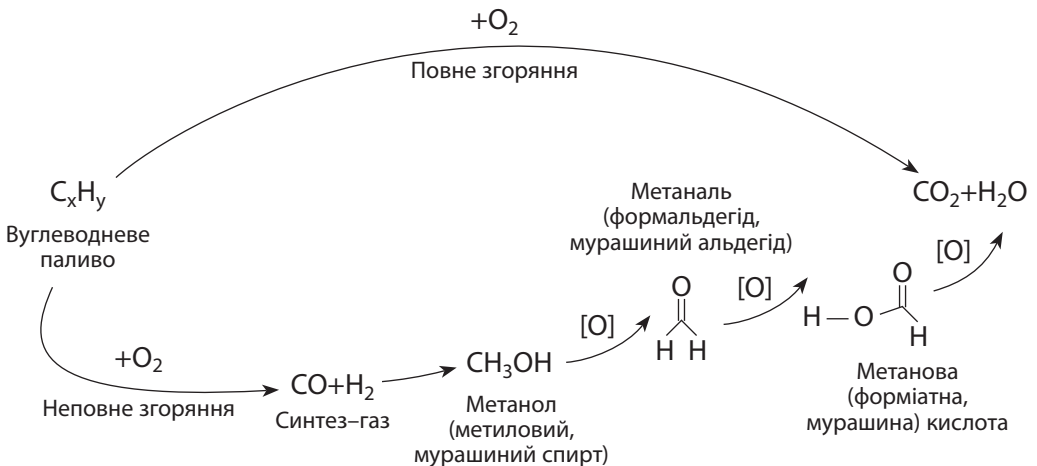


Рис. 1. Метаналь (формальдегід) у циклі згоряння палива

будівельні й оздоблювальні матеріали, тютюновий дим, продукти згоряння побутового газу). У літературі наявні дані щодо інших смол на основі формальдегіду (PF, MF, MUF, RF і PRF), які можуть розглядатися, як замітники високовипромінювальних смол. Їхнє використання ефективно скорочує, а то й усуває (до фонових рівнів) викиди формальдегіду і запобігає несприятливому впливу на довкілля. У дослідженнях Бехта П.А. та співавт. (2016) [8] доведено доцільність використання деревного волокнистого шламу як наповнювача клеїв для виготовлення фанери: застосовуються відходи виробництва, зменшується токсичність фанери.

У наукових джерелах є дані щодо мутагенної активності формальдегіду. Він безпосередньо впливає на нуклеопротейдну речовину, блокує амінокислоти в структурі генних білків, зокрема виявлено спадкові зміни у *Drosophila melanogaster* Mg., бактерій і рослин. Формальдегід здійснює загальнотоксичну дію на організм людини, є алергеном і канцерогеном, проявляє мутагенну активність на певних етапах розвитку організмів, зокрема в період реплікації ДНК на ембріональних стадіях. Токсич-

ність формальдегіду добре вивчена в експериментах на тваринах [9]. Вплив формальдегіду на рослини маловивчений.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Фітотестування проводили шляхом формування мікрокосмних моделей (мікрокультиваторів) і висаджування в них каліброваних насінин пшениці сорту Фаворит. Предметом дослідження слугували модельні об'єкти, чутливі до впливу екогенних чинників, відокремлені від трибових проростків. Підготовку рослинного матеріалу робили за стандартними методиками [10], довжину корінців [11], посівну якість, згідно з ДСТУ 4138-2002. Вплив формальдегіду здійснювали за авторською методикою «обкурювання» насіння та проростків. Концентрації формальдегіду вибирали на основі літературних даних, з огляду на значення ГДК для рослин. Алгоритм дослідження представлено на схемі (рис. 2).

Швидкість росту відрізків колеоптилів пропорційна величині тургорного тиску (F) і відносному часу знаходження зв'язків

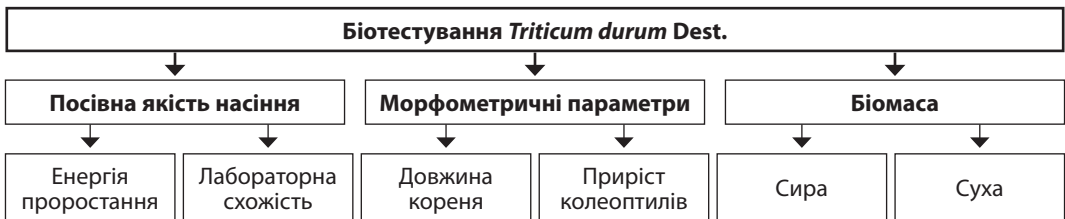


Рис. 2. Алгоритм визначення токсичності формальдегіду

у розімкнутому стані. Рівняння приросту колеоптилів:

$$\frac{dl}{dt} = k_{\text{эф}} \cdot l; \quad k_{\text{эф}} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot R \cdot T}{V_b} \ln a_b,$$

де R – універсальна газова стала; T – температура; l – розмір відрізка колеоптилю наприкінці досліду, мм; $k_{\text{эф}}$ – ефективна константа швидкості приросту (0,13+0,01 для розчину); t – час впливу досліджуваної речовини; α, β – емпіричні параметри, що визначають вплив тургорного тиску і відносного часу знаходження пектинової речовини в розімкненому стані для зростання колеоптилів; V_b – парціальний молярний об’єм води в клітині; a_b – активність води в клітині.

Після розв’язування рівняння набуває вигляду:

$$l = l_{\text{max}} \left(1 - e^{-kt} \right),$$

де l_{max} – максимальний приріст відрізків колеоптилів, який залежить від відносної швидкості руйнування і утворення полісахаридних зшивок. Зі збільшенням токсиканта у середовищі l_{max} зменшується.

Якщо гіпотеза про те, що під час надходження із розчину в цитоплазму токсикант негативно впливає на обмінні процеси в рослинній клітині, то граничний розмір колеоптильного сегмента в середовищі з токсикантом подано так:

$$l_{\text{max}} = l_{\text{max}}^0 \cdot e^{-\delta_i \cdot f_i} \cdot c_i.$$

Розраховували індекси:

- індекс схожості насіння (IC):

$$IC = \frac{NGS_d}{NGS_k} \cdot 100\%;$$

- індекс кореня (IK):

$$IK = \frac{RL_d}{RL_k} \cdot 100\%;$$

- індекс пагона (III):

$$III = \frac{SL_d}{SL_k} \cdot 100\%,$$

де NGS_d і NGS_k – кількість насіння, що проросло у дослідному і контрольному

варіантах експерименту, відповідно; RL_d і RL_k – довжина первинного корінця у досліді й на контролі; SL_d і SL_k – довжина первинного пагона у дослідному і контрольному варіантах. Інтегральним кількісним показником морфофункціональних змін біотестора слугував індекс проростання насіння (III), який розраховували за формулою [12]:

$$III = \frac{IC \cdot IK \cdot III}{100\% \cdot 100\%}.$$

Математичну обробку проводили варіаційно-статистичним методом, розрахунки здійснювали за допомогою редактора MS Excel 2007.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Здатність переносити несприятливі умови залежить від умов формування рослини, впливу чинників та їх поєднань. У період до появи сходів проростки особливо чутливі до зміни навколишнього середовища, сильна дія стресових чинників у цей період призводить до аномалій розвитку і видозмін. За впливу на колеоптилі пшениці формальдегіду у концентрації 0,5 ГДК спостерігається незначне стимулювання їх приросту (на 28,7%), за впливу 2 ГДК – достовірне пригнічення на 26,1%. За результатами тесту Шапіро–Вілкі встановлено, що за впливу концентрації 1,5 ГДК (stat=0,913, p=0,110), 0,5 ГДК (stat=0,906, p=0,064), ГДК (stat=0,905, p=0,062) та 2 ГДК (stat=0,921, p=0,155) розподіл має нормальний характер. Середні значення довжини колеоптилів на градієнті концентрації формальдегіду 2,92–3,4 мм (табл. 1), що свідчить про помірні негативні ефекти на ріст колеоптилів.

Дисперсія приросту колеоптилів за різних кратностей ГДК значно відрізняється, що може вказувати про неоднорідність ефектів.

Дисперсія приросту колеоптилів за різних кратностей ГДК значно відрізняється, що може вказувати про неоднорідність ефектів. Медіани зростання рослин нижчі, ніж середні значення, це свідчить про те,

Таблиця 1. Довжина колеоптилів *T. durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду, мм

ГДК	Середнє значення	Медіана	min	max	Дисперсія
Контроль	3,220	3,0	2,2	4,0	0,25
0,1 ГДК	2,920	3,0	2,0	4,0	0,20232
0,25 ГДК	3,025	3,0	2,2	3,9	0,137425
0,5 ГДК	3,400	3,5	2,5	5,0	0,3
1,5 ГДК	3,330	3,25	3,0	4,0	0,13875
ГДК	3,270	3,0	2,5	4,0	0,1765
2 ГДК	3,050	3,0	2,0	3,5	0,1075

що в деяких випадках різні концентрації речовини можуть мати негативний вплив на окремі рослини. Встановлено, що у всіх групах дослідження спостерігається проростання насіння. До того ж max проростання зафіксовано у групі 0,5 ГДК, а min – 2 ГДК. Для оцінки статистичної значущості отриманих даних проведено ANOVA, виявлено статистично значиму різницю у середніх значеннях проростання між групами ($F=22,6$, $p<0,001$). Літературні дані показують, що температура прискорює гідроліз запасних речовин зернівки, дихання й накопичення сухої маси коренем і пагоном, що візуально відображається подовженням колеоптилю. Тому, можна припустити, що формальдегід здатний стимулювати

гідроліз запасних речовин. Виявлено пригнічення приросту колеоптилю *T. durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду. Приріст колеоптилю зменшувався на 23–43% порівняно із контролем (рис. 3). Проведено оцінку фітотоксичного ефекту за ростовим тестом, де відзначено середній та високий його рівень для всіх досліджених концентрацій.

Ріст злакових значною мірою залежить від особливостей проростання насіння, зокрема енергії проростання [13]. Показник енергії проростання насіння до певної міри можна регулювати технологічними прийомами або підбором екологічних природних умов середовища. Насіння, яке швидко і дружно проростає, має високу енергію

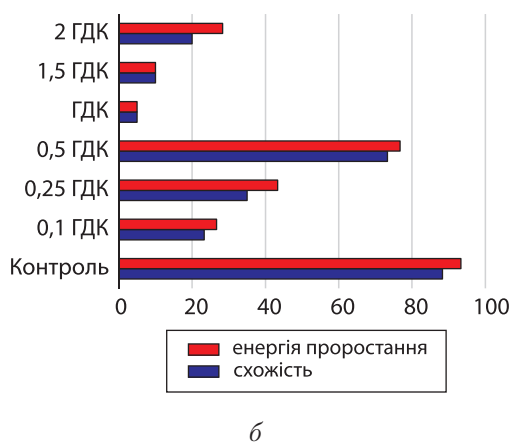
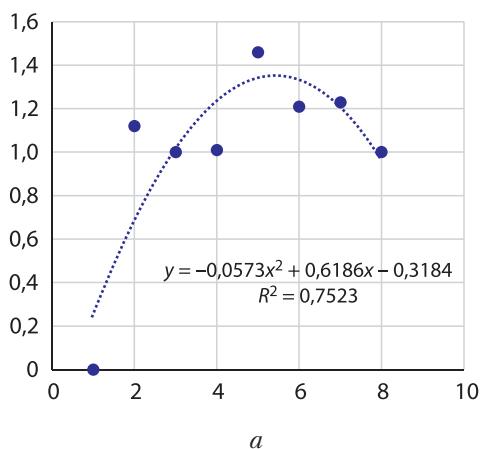


Рис. 3. Приріст колеоптилів (а, мм), енергія проростання (%) та індекс схожості (б) *Triticum durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду

проростання, дає дружні сходи, які менше пригнічуються бур'янами і більш стійкі до несприятливих умов [14]. Схожість — найважливіший показник якості насіння, її визначають за кількістю нормальних проростків, які з'явилися через сім діб пророщування [15; 16]. Аналіз проростання насіння *T. durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду показав інгібування як схожості, так і енергії проростання насіння за впливу всіх досліджених концентрацій (див. *рис. 3*). Найменший відсоток пророслого насіння (5,6%) виявлено за концентрації формальдегіду, що відповідає гранично допустимій. За концентрації, що становить 1,5 ГДК проросло 11,3% насіння. Реакція насіння пшениці на концентрацію формальдегіду, що відповідає 0,1 ГДК і 2 ГДК виявилася практично однаковою (28,6% і 30,3%, відповідно). Найбільший відсоток проростання насіння (82,2%) відмічено за впливу формальдегіду у концентрації, на рівні 0,5 ГДК. За допомогою регресії розрахували коефіцієнт ефективності ($k_{\text{еф}}$). Побудували графік залежності приросту колеоптилів у часі на градієнті концентрації формальдегіду (*рис. 4*).

Отримано квадратичну функцію:

$$y = -65029x^2 + 248,21x - 0,7327;$$

$$R^2 = 0,7946.$$

Квадратичний поліном вказує на те, що за зростання концентрації формальдегіду приріст колеоптилів спочатку підвищу-

ється, але потім зменшується. Це типовий приклад квадратичної залежності між двома змінними. З огляду $R^2=0,7946$, можна стверджувати, що ця модель досить точно відображає залежність між концентрацією формальдегіду і приростом колеоптилів.

Отже, концентрація формальдегіду у дослідних варіантах впливає на швидкість приросту колеоптилів. Коефіцієнти детермінації свідчать, що дані відносно точні. Значення ефективної концентрації (EC_{50}), тобто концентрації, при якій приріст колеоптилів зменшується на 50% порівняно з контролем, становить 0,875 ГДК. Приріст колеоптилів знижується зі збільшенням концентрації розчину (*табл. 2*).

Усі досліджені концентрації формальдегіду стимулювали ріст кореня проростків у довжину (*рис. 5*). За впливу формальдегіду у концентрації 0,1 ГДК — на 221%, 1,5 ГДК — на 664%. У літературі вказано функціональну залежність між вегетативними органами та підземною частиною рослини.

На початкових етапах росту проросток використовує запасні речовини зернівки. Тому від біологічної повноцінності запасу, залежить характер, спрямованість та інтенсивність фізіологічних і біохімічних процесів упродовж вегетації рослини. До складу насіння входить вода і суха речовина, представлена органічними і мінеральними сполуками. Ріст є інтегральним показником функціонального стану рослини. Тому здатність інгібувати чи стимулювати

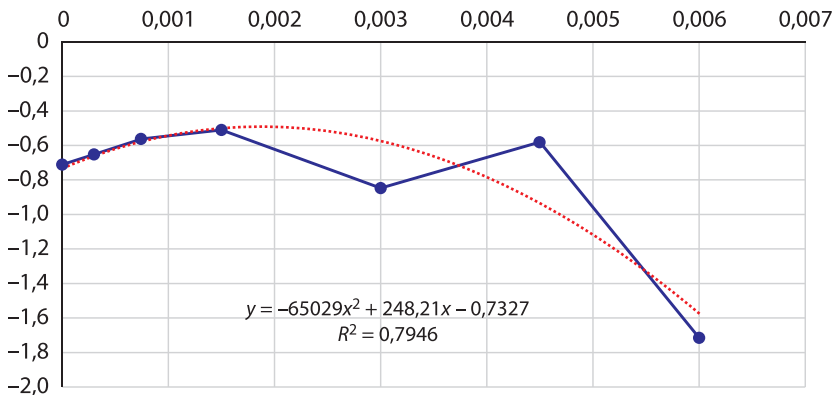
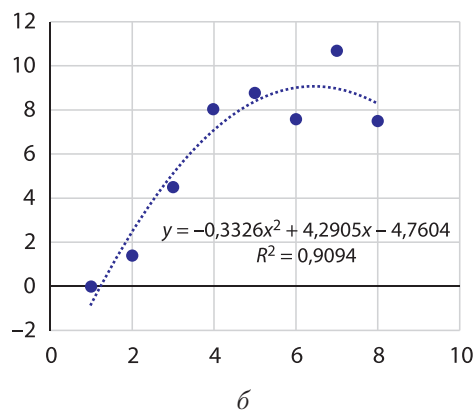
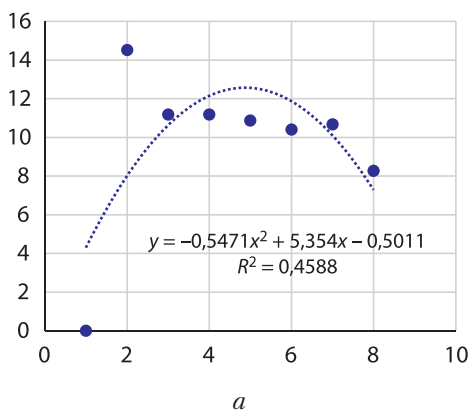
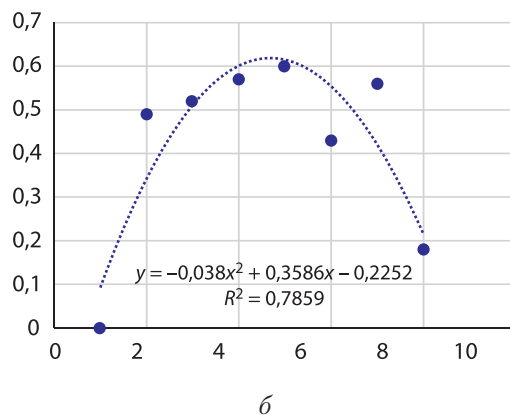
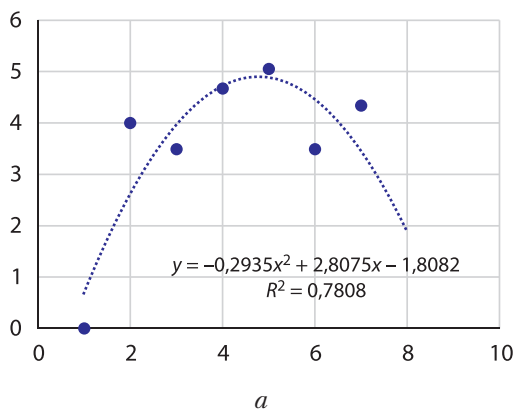


Рис. 4. Залежність приросту колеоптилів від концентрації формальдегіду

Таблиця 2. Приріст колеоптилів *Triticum durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду

Варіанти	C , мг/дм ³	Δl , мм	$k_{\text{эф}}$, мм/год	Коефіцієнт детермінації (R^2)
Контроль	0	0,49	0,017	0,95
0,1 ГДК	0,00030	0,52	0,018	0,99
0,25 ГДК	0,00075	0,57	0,024	0,97
0,5 ГДК	0,00150	0,60	0,028	0,99
ГДК	0,00300	0,43	0,014	0,93
1,5 ГДК	0,00450	0,56	0,024	0,98
2 ГДК	0,00600	0,18	0,007	0,91

Рис. 5. Індекс пагона (а) та індекс кореня (б) проростків *T. durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду, %Рис. 6. Сира (а) й абсолютно суха біомаса (б) проростків *T. durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду, %

Таблиця 3. Нормовані і стандартизовані морфофункціональні показники біотестора

Варіанти	ІС	ІК	ІП	ІПН
Контроль	26,39	43,27	77,00	8,79
0,1 ГДК	39,64	77,50	77,00	23,66
0,25 ГДК	83,01	84,42	74,93	52,51
0,5 ГДК	5,66	72,98	71,69	2,96
ГДК	11,33	102,79	73,48	8,56
1,5 ГДК	22,65	72,12	57,02	9,31
2 ГДК	26,39	43,27	77,00	8,79

Примітка: ІС – індекс схожості насіння; ІК – індекс кореня; ІП – індекс пагона; ІПН – індекс проростання насіння.

ростові процеси як на рівні організму, так і окремих органів можна розглядати як один із найінформативніших показників токсичності середовища чи окремих чинників впливу [17; 18]. Для з'ясування біологічних ефектів впливу формальдегіду проводили морфометричний аналіз коренів і пагонів проростків із подальшим визначенням відповідних індексів.

Аналіз ростових процесів проростків *T. durum* Dest. показав інгібування росту надземної частини, натомість стимулювання росту коренів, що відбувалося на тлі підвищення сирової біомаси проростків. За

концентрації формальдегіду (ГДК і 2 ГДК) є зменшення величини абсолютно сухої біомаси проростків (табл. 3).

ВИСНОВКИ

Встановлено інгібування росту надземної частини проростків *Triticum durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду. Відмічено, що концентрація формальдегіду впливає на швидкість приросту колеоптилів. Обґрунтовано, що приріст колеоптилів знижується зі збільшенням концентрації розчину, значення ефективної концентрації (EC_{50}) – 0,875 ГДК.

ЛІТЕРАТУРА

- Шевченко О.Г., Кульбіда М.І., Сніжко С.І. та ін. Рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва формальдегідом. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2014. № 14. С. 5–15. URL: <http://surl.li/oldmb>.
- Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць: наказ від 14.01.2020 р. №52. Міністерство охорони здоров'я України.
- Екологічний паспорт Чернівецької області. 2022. URL: <http://surl.li/piolz>.
- Tazaki K. et al. Environmental Survey of Indoor Air Pollution by Formaldehyde (FA) in Kanazawa. *J. of Aerosol. Research*. 2002. № 17 (4). P. 284–290.
- Motta O., Charlier B., De Caro F. et al. Environmental and Biological Monitoring of Formaldehyde inside A Hospital Setting: A Combined Approach to Manage Chemical Risk in Workplaces. *Journal of Public Health Research*. 2021. № 10 (1). DOI: <https://doi.org/10.4081/jphr.2021.2012>.
- Kirschner P. Determination of aldehydes. *Peak HP*. 1994. № 2. P. 7–10.
- Boeniger M.F. Formate in urine as a biological indicator of formaldehyde exposure. *Amer. Ind. Hyg. Assoc. Journal*. 1987. Vol. 48. № 11. P. 900–908.
- Бехта П.А., Салабай Р.Г., Салабай І.І., Ношенко Г.В. Зменшення вмісту формальдегіду у фанері, склеєній карбамідоформальдегідними клеями з використанням деревинного волокнистого шламу. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2016. Вип. 14. С. 265–272.
- National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH Manual of Analytical Method (NMAM). 2016. Accessed: September 4, 2020. URL: <https://www.cdc.gov/niosh/nmam/default.html>.
- Колупаєв Ю.С. Стресові реакції рослин. Харків: ХДУ, 2001. 173 с.
- Руденко С.С., Костишин С.С., Морозова Т.В. Практикум із загальної екології. Чернівці: ЧНУ, 2013. 248 с.
- Гродзинський Д.М., Шиліна Ю.В., Куцокін Н.К. та ін. Застосування рослинних тест-систем для оцінки комбінованої дії факторів різної природи. Київ: Фітосоціоцентр, 2006. 60 с.

13. Макрушин М.М., Макрушина Є.М. Насінництво. Сімферополь: ВД «Аріал», 2011. 476 с.
14. Шемавнов В.І., Ковалевська Н.І., Мороз В.В. Насінництво польових культур. Дніпропетровськ, 2004. 230 с.
15. Насінництво й насіннезнавство польових культур / за ред. М.М. Гаврилюка. Харків, 2007. 214 с.
16. ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2002–12–28]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2003. 173 с.
17. Косаківська І.В. Стрес рослин: специфічні та неспецифічні реакції адаптаційного синдрому. *Укр. бот. журн.* 1998. Т. 55. № 6. С. 584–587.
18. Сельський В.К., Каниук Х.І., Верста О.М. та ін. Вплив природних розсолів Передкарпатського гірського прогину на морфофункціональні показники жита озимого (*Secale cereale* L.) та ячменю ярого (*Hordeum sativum* J.). *Вісник Прикарпатського нац. ун-ту імені Василя Стефаника. Сер.: Біологія.* 2012. Вип. XVII. С. 217–221. URL: <http://surl.li/oldob>.

REFERENCES

1. Shevchenko, O.H., Kulbida, M.I., Snizhko, S.I. et. al. (2014). Riven zabrudnennia atmosferneho povitria mista Kyieva formaldehydom [The level of air pollution in the city of Kyiv with formaldehyde]. *Ukrainskyi hidrometeorologichnyi zhurnal — Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 14, 5–15. URL: <http://surl.li/oldmb> [in Ukrainian].
2. Pro zatverdzhennia hihiiienichnykh rehlamentiv dopustymoho vmistu khimichnykh i biolohichnykh rechovyn v atmosfernomu povitri naselenykh mist: nakaz vid 14.01.2020 [On the approval of hygienic regulations for the permissible content of chemical and biological substances in the atmospheric air of settlements: order of 14.01.2020]. *Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy — Ministry of Health of Ukraine*, 173 [in Ukrainian].
3. Ekolohichnyy pasport Chernivets'koyi oblasti [Environmental passport of Chernivtsi region]. (2022). URL: <http://surl.li/piolz> [in Ukrainian].
4. Tazaki, K. et al. (2002). Environmental Survey of Indoor Air Pollution by Formaldehyde (FA) in Kanazawa. *J. of Aerosol. Research*, 17 (4), 284–290 [in English].
5. Motta, O., Charlier, B., De Caro, F. et al. (2021). Environmental and Biological Monitoring of Formaldehyde inside A Hospital Setting: A Combined Approach to Manage Chemical Risk in Workplaces. *Journal of Public Health Research*, 10 (1). DOI: <https://doi.org/10.4081/jphr.2021.2012> [in English].
6. Kirschner, P. (1994). Determination of aldehydes. *Peak HP*, 2, 7–10 [in English].
7. Boeniger, M.F. (1987). Formate in urine as a biological indicator of formaldehyde exposure. *Amer. Ind. Hyg. Assoc. Journal*, 48 (11), 900–908 [in English].
8. Bekhta, P.A., Salabai, R.H., Salabai, I.I. & Noshchenko, H.V. (2016). Zmenshennia vmistu formaldehydu u faneri, skleienii karbamidoformaldehydnymi kleiamy z vykorystanniam derevynnoho voloknystoho shlamu [Reduction of formaldehyde content in plywood glued with urea-formaldehyde adhesives using wood fiber sludge]. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy — Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 14, 265–272 [in Ukrainian].
9. National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH Manual of Analytical Method (NMAM) (2016). Accessed: September 4, 2020. URL: <https://www.cdc.gov/niosh/nmam/default.html> [in English].
10. Kolupaiev, Yu.S. (2001). *Stresovi reaktsii Roslyn [Plant stress responses]*. Kharkiv: KhDU [in Ukrainian].
11. Rudenko, S.S., Kostyshyn, S.S. & Morozova, T.V. (2013). *Praktykum iz zahalnoi ekolohii [General Ecology Practicum]*. Chernivtsi: ChNU [in Ukrainian].
12. Hrodzynskiy, D.M., Shylina, Yu.V., Kutsokon, O.M. et. al. (2006). *Zastosuvannia roslynnykh test-system dlia otsynky kombinovanoi dii faktoriv riznoi pryrody [Plant Test Systems to Assess the Combined Effect of Factors of Different Nature]*. Kyiv: Fitosotsiotsentr, Application [in Ukrainian].
13. Makrushyn, M.M. & Makrushyna, Ye.M. (2011). *Nasinytstvo [Seed production]*. Simferopol [in Ukrainian].
14. Shemavnov, V.I., Kovalevska, N.I. & Moroz, V.V. (2004). *Nasinytstvo polovykh kultur [Seed production of field crops]*. Dnipropetrovsk [in Ukrainian].
15. Havryliuk, M.M. (Ed.). (2007). *Nasinytstvo y nasinieznavstvo polovykh kultur [Seed Production and Seed Science of Field Crops]*. Kharkiv [in Ukrainian].
16. Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti [Seeds of agricultural crops. Methods of quality determination]. (2003). *DSTU 4138-2002 from 28th December 2002*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
17. Kosakivska, I.V. (1998). Stres roslin: spetsyfychni ta nespetsyfychni reaktsii adaptatsiinoho syndromu [Plant Stress: Specific and Non-Specific Reactions of the Adaptation Syndrome]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal — Ukrainian Botanical Journal*, 55 (6), 584–587 [in Ukrainian].
18. Selskyi, V.K., Kaniuk, Kh.I., Versta, O.M. et. al. (2012). Vplyv pryrodnykh rozsoliv Peredkarpatskoho hirs'koho prohynu na morfo-funktsionalni pokaznyky zhyta ozymoho (*Secale cereale* L.) ta yachmeniu yaroho (*Hordeum sativum* J.) [Influence of Natural Brines of the Precarpathian Mountain Trough on the Morpho-Functional Parameters of Winter Rye (*Secale cereale* L.) and Spring Barley (*Hordeum sativum* J.)]. *Visnyk Prykarpatskoho nats. un-tu imeni Vasylia Stefanyka. Seria: Biolihiia — Visnyk Prykarpatskoho nats. Vasyl Stefanyk University. Series: Biology*, XVII, 217–221 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 18.01.2024

Поєднання таких біологічних властивостей, як висока продукція життєздатного насіння, поширення його вітром на значні відстані, швидкий перехід сіянців у генеративний стан та досить висока вегетативна рухливість значно ускладнюють контроль за його подальшим поширенням і організацію заходів менеджменту його популяцій [8]. Тому актуальним є пошук можливих засобів обмеження спроможності цього виду до нових інвазій. Одним із природних механізмів ефективного обмеження розвитку популяцій рослин є вплив на них фітофагів. Особливо відповідним є застосування саме таких механізмів на природо-заповідних територіях, де використання інших методів (викошування, видалення кореневищ, обробка гербіцидом) є небажаним, неможливим, або протизаконним. З огляду на це, прояви впливу фітофагів на цей вид необхідно простежити та оцінити.

Мера: описати виявлений випадок переходу трьох місцевих видів комах-фітофагів, а саме клопів лігеїд *Tropidothorax leucopterus* (Goeze, 1778), *Lygaeus equestris* (Linnaeus, 1758) та *L. simulans* (Deckert, 1985) до живлення на ваточнику сирійському.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідження фітофагів ваточника активно проводяться в Північній Америці [9; 10], де він є аборигенним видом і має важливе значення у життєвому циклі метелика монарха *Danaus plexippus* (Linnaeus, 1758), що є рідкісним видом і занесений до Червоного списку Міжнародного союзу охорони природи як загрожуваний [11]. Однак ці дослідження стосуються північно-американських видів рослиноїдних комах. За межами природного ареалу ваточник уникає більшості природних ворогів за винятком олеандрової попелиці *Aphis nerii* (Fonscolombe, 1841), яка має широкий ареал, зокрема поширена в Європі [12]. Щодо інших фітофагів, які могли б споживати ваточник в умовах Європи та, зокрема, України мало даних. Згадки про

живлення на ваточнику клопів лігеїд наводяться, зокрема, у спеціальних працях, присвячених цим кохам [13; 14]. Однак детальних спостережень за живленням на ваточнику місцевих видів комах, у т. ч. цих клопів, наразі, небагато.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Канівський природний заповідник розташований у центральній частині зони Лісостепу і складається з трьох частин: нагірної частини, що представляє дислоковану та еродовану 4-ту надзаплавну терасу Дніпра, 2 заплавні острови на Дніпрі та урочище «Зміїні острови», що є ділянкою 1-ї надзапальної (борової) тераси [15].

Дослідження проводилось у нагірній частині заповідника впродовж польових сезонів 2022 і 2023 рр. під час моніторингових досліджень у Канівському природному заповіднику за програмою «Літопису природи», що здійснюються згідно з Законом України «Про природно-заповідний фонд».

Клопів виявляли шляхом візуального огляду рослин ваточника на перелогах, що заростають, у нагірній частині заповідника. Для визначення використовували монографію [14] та окремі статті [16; 17]. Дані про погодні умови взято з матеріалів метеостанції заповідника.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У Канівському природному заповіднику ваточник часто зустрічається в нагірній частині та околицях, а також на заплавних островах [7; 18]. У ході заростання давньоперелогових ділянок в охоронній зоні правобережної частини заповідника сформувалось декілька популяцій ваточника з високою щільністю пагонів на одиницю площі (3–8 екз./м²). Невеликі за площею (до 20 м²) ділянки із його зростанням трапляються на піщаних схилах правого берега Дніпра вздовж дороги із м. Канів до с. Пекарі. Всі популяції приурочені до відкритих ділянок. Переважання лісових угруповань у правобережній частині запо-

відника не сприяє поширенню тут цього виду. Така загроза є досить істотною для заплавлених лук на заповідному острові Шелестів, де вже сформувались десятки його місцевих популяцій.

Серед близькоспоріднених із ваточником місцевих видів рослин слід згадати ластовень звичайний (*Vincetoxicum hirsutinaria* Medik.), що є звичайним видом для Канівського природного заповідника [7; 18]. Характерно, що у нагірній частині заповідника ластовень і ваточник часто зростають у тих самих біотопах, але щільність популяції ваточника — значно більша.

Місцеві види комах, що живляться на ластовні звичайному можуть переходити на живлення на ваточнику [13; 14]. Серед таких комах — клопи лігеїди (*Lygaeidae*). Впродовж 2022–2023 рр. на ваточнику в нагірній частині Канівського природного заповідника спостерігалось живлення представників трьох видів цієї родини: *Tropidothorax leucopterus*, *Lygaeus equestris* та *L. simulans*.

Тропідоторакс ластівневий *Tropidothorax leucopterus* — вид широко представлений по всій території України, крім типово степових районів [14]. Клопи цього виду живляться переважно на рослинах родини *Arocynaceae*, зокрема на ластовні звичайному. Ваточник сирійський також згадується в літературі серед рослин, на яких можливе живлення тропідоторакса [13; 14].

Клопів цього виду на ваточнику вперше було нами виявлено 18.08.2022 р. у нагірній частині заповідника на нижній поверхні листків. Клопи відмічалися до першої половини вересня. Кількість особин на одній рослині наприкінці сезону була меншою. Відмічено лише імаго цього виду. Впродовж вегетаційного сезону 2023 р. спостережень тропідоторакса було значно більше (але ми не пов'язуємо це зі збільшенням чисельності, а з більш цілеспрямованим пошуком представників цього виду). 20 червня виявлено щільні групи молодих личинок на листках ваточника. Пізніше відзначали менш щільні групи німф старшого віку. З 01.09.2023 р. спостерігаються

змішані групи німф та імаго. З часом частка імаго — збільшується. За цей час було кілька спостережень цього виду на ластовні звичайному, як поблизу популяцій ваточника, так і на відстані від них у кілька сотень метрів. Однак на ластовні було виявлено лише окремих особин, тоді як на ваточнику вони утворювали щільні групи до 100 особ./1 росл. Найчастіше такі групи відмічали на нижній поверхні листків, зазвичай при їх основі. З часом, ці листки починали в'янути й всихати, тоді клопи переміщувалися на інші листки або на сусідні рослини. Наприкінці сезону вони могли концентруватися на зів'ялих листках поблизу плодів чи на самих плодах, але живлення на плодах жодного разу виявлено не було. Осінь 2023 р. характеризувалася аномально теплими погодними умовами. Так, середньомісячні температури вересня, жовтня і листопада становили 19,2°C, 12,2°C і 4,9°C відповідно (за середньобаторічних значеннях для цих місяців 15,4°C, 9,0°C й 3,0°C відповідно [19]). З огляду на це, знахідки клопів на рослинах ваточника тривали до кінця жовтня (останнє спостереження — 26.10).

Лігеї *Lygaeus equestris* та *L. simulans*. *L. equestris* також належать до звичайних видів на всій території України [14], а *L. simulans* відомий із багатьох країн Європи, зокрема з України [16; 20; 21]. Вони не є такими спеціалізованими трофічно як тропідоторакс, перелік їх кормових рослин включає різні види, але серед них є і ластовень та близькі до нього види, водночас основним кормовим об'єктом є не сік живих рослин, а вміст насіння [14; 21; 22]. Ці два види клопів досить складно розрізняються, що є причиною меншої дослідженості *L. simulans*, який був описаний пізніше. Однак вони мають певні відмінності в морфології та забарвленні [16; 17]. 12.09.2023 р. було відзначено групу лігеїв на плодах двох рослин ваточника, що на той час розкривалися. Серед них були 16 імаго та 2 німфи, ті, яких вдалося визначити, належали до виду *L. simulans*. Клопи проникали всередину плоду і смоктали насіння. 14.09 на більш розкритих плодах тих

самих рослин також було виявлено групу клопів (переважно *L. simulans*) 15 імаго та 1 нимфу, що смоктали насіння. Пізніше, коли на цих рослинах насіння висипалося з плодів, кількість клопів на них зменшувалася. В той самий час, на інших рослинах ваточника на цій ділянці відмічалися окремі особини *L. equestris* та *L. simulans*, зокрема на плодах, це тривало до першої половини жовтня (останні спостереження для обох видів – 11.10).

За результатами наших спостережень живлення клопів лігеїд на ваточнику навряд чи могло істотно вплинути на його популяцію в заповіднику, оскільки масове живлення клопів було виявлено лише на невеликій частині рослин. Однак у разі збільшення чисельності клопів за використання ваточника як поширеного і доступного джерела живлення, їх вплив на розповсюдження ваточника може зрости і відіграти певну роль у контролі популяції цього небезпечного інвазивного виду. В цьому відношенні перспективною є розробка біотехнологічних прийомів збільшення чисельності особин геміоблігатного фітофага рослин родини *Aprocynaceae* – *Tropidothorax leucopterus* для експериментального дослідження можливості його використання у боротьбі із поширенням ваточника.

ВИСНОВКИ

Ваточник сирійський (*Asclepias syriaca*) в умовах Придніпровського Лісостепу проявляє якості активного виду-трансформера, що часто викликає низку негативних явищ у біоценозах з участю автохтонних охоронюваних видів. Однією із причин його активного розселення є відсутність істотного впливу фітофагів. Під час наших досліджень встановлено, що ваточник сирійський може приваблювати представників деяких видів місцевих рослиноїдних комах, зокрема спеціалізованих фітофагів близькородних абorigineчних видів рослин. Отже, цей чужорідний вид може включатися в ланцюги живлення в місцевих екосистемах, а такі види комах-фітофагів можуть стати лімітувальним чинником, що контролюватиме поширення ваточника.

Доцільними є подальші, більш масштабні щодо охоплення територій, спостереження за впливом природних фітофагів на ваточник сирійський та дослідження ефектів такого впливу у популяціях, що перебувають у режимі абсолютного заповідання, зокрема на території Канівського природного заповідника. Зокрема важливо підтвердити факт фітофагії вказаних та інших видів в екосистемах піщаних терас Дніпра, де особливо активно поширюється ваточник сирійський.

ЛІТЕРАТУРА

- Lipińska H., Lipiński W., Shubar I. et al. Invasive plant species and their threat to biodiversity. *Plant and Soil Science*. 2023. Vol. 14 (1). P. 51–65. DOI: <https://doi.org/10.31548/plant1.2023.51>.
- Абдулоєва О., Карпенко Н., Сенчило О. Обґрунтування «Чорного списку» загрозливих для біорізноманіття інвазійних видів рослин України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Сер.: Біологія*. 2008. № 53. С. 108–110.
- Shubar I., Korpița H., Balkovskiy V. et al. *Asclepias syriaca* L. is a threat to biodiversity and agriculture of Ukraine. *BIO Web of Conferences*. 2021. Vol. 36. (07010). DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213607010>.
- Зав'ялова Л.В. Види інвазійних рослин, небезпечні для природного фіторізноманіття об'єктів природно-заповідного фонду. *Біологічні системи*. 2017. № 9 (1). С. 87–107. DOI: <https://doi.org/10.31861/biosystems2017.01>.
- Gallé R., Erdélyi N., Szpijsak N. et al. The effect of the invasive *Asclepias syriaca* on the ground-dwelling arthropod fauna. *Biologia*. 2015. Vol. 70 (1). P. 104–112. DOI: <https://doi.org/10.1515/biolog-2015-0011>.
- Somogyi A.Á., Lőrinczi G., Kovács J. and Maák I.E. Structure of ant assemblages in planted poplar (*Populus alba*) forests and the effect of the Common milkweed (*Asclepias syriaca*). *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*. 2017. Vol. 63 (4). P. 443–457. DOI: <https://doi.org/10.17109/AZH.63.4.443.2017>.
- Шевчик В.Л., Соломаха В.А., Войтюк Ю.О. Синтаксономія рослинності та список флори Канівського природного заповідника. Київ: Фітосоціоцентр, 1996. 119 с.
- Діденко В.І., Куземко А.А., Безсмертна О.О. та ін. Ваточник звичайний (*Asclepias syriaca* L., *Aprocynaceae* Juss.) – інвазійно небезпечний медонос флори України. *Бджільництво України*. 2022. № 9. С. 27–39. DOI: <https://doi.org/10.46913/beekkeepingjournal.2022.9.04>.
- Agrawal A.A. Natural selection on common milkweed (*Asclepias syriaca*) by a community of specialized in-

- sect herbivores. *Evolutionary Ecology Research*. 2005. Vol. 7. P. 651–667.
10. Matter S.F. Effects of Above and Below Ground Herbivory by *Tetraopes tetraophthalmus* (Coleoptera: Cerambycidae) on the Growth and Reproduction of *Asclepias syriaca* (Asclepidaceae). *Environmental entomology*. 2001. Vol. 30 (2). P. 333–338. DOI: <https://doi.org/10.1603/0046-225X-30.2.333>.
 11. IUCN Standards and Petitions Committee. 2023. *Danaus plexippus* ssp. *plexippus* (amended version of 2022 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2023: e.T194052138A246096271. <https://www.iucnredlist.org/species/194052138/246096271>.
 12. Birnbaum S.S.L. and Abbot P. Insect adaptations toward plant toxins in milkweed-herbivores systems — a review. The Netherlands Entomological Society. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 2018. Vol. 166. P. 357–366. DOI: <https://doi.org/10.1111/eea.12659>.
 13. Kment P., Štys P., Exnerová A. et al. The distribution of *Tropidothorax leucopterus* in the Czech Republic and Slovakia (Hemiptera: Heteroptera: Lygaeidae). *Acta Musei Moraviae, Scientiae biologicae*. 2009. Vol. 94. P. 27–42.
 14. Пучков В.Г. Фауна України. Т. 21. Вип. 3. Лігеїди. Київ: Наукова думка, 1969. 388 с.
 15. Чорний М.Г., Чорна Л.О., Грищенко В.М. та ін. Заповідна Черкащина / за ред. М.Г. Чорного. Черкаси: Брама-Україна, 2012. 200 с.
 16. Costas M. and Vázquez M.A. Nuevos datos sobre *Lygaeus simulans* Deckert, 1985 (Heteroptera, Lygaeidae) en la Península Ibérica. *Anales de Biología*. 1991. Vol. 17 (Biología Animal, 6). P. 23–28.
 17. Deckert J. Über *Lygaeus simulans* spec. nov. und *L. equestris* (Linnaeus, 1758), zwei nahe verwandte paläarktische Lygaeinae (Heteroptera, Lygaeidae). *Mitteilungen aus dem Zoologischen Museum in Berlin*. 1985. Vol. 61 (2). P. 273–278.
 18. Нечитайло В.А., Погребенник В.П., Гриценко В.В. Судинні рослини Канівського заповідника і околиць. Київ: Фітосоціоцентр, 2002. 226 с.
 19. Борисенко М.М. Деякі кліматичні характеристики Канівського природного заповідника за матеріалами спостережень метеостанції в 1991–2020 рр. *Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття на природно-заповідних територіях: матер. конфер., присвяч. 100-річчю Канівського природного заповідника*. Чернівці: Друк Арт, 2023. С. 139–143.
 20. Pericart J. Superfamily Lygaeoidea Schilling, 1829. Family Lygaeidae Schilling, 1829 — Seedbugs. *Catalogue of the Heteroptera of the Palaearctic Region*. Vol. 4. Pentatomomorpha / Aukema B., Rieger Ch. (Eds.). Amsterdam: The Netherlands Entomological Society. 2001. P. 35–220.
 21. Van der Heyden T. and Dioli P. First records of *Lygaeus simulans* Deckert, 1985 for Albania (Hemiptera: Heteroptera: Lygaeidae: Lygaeinae). *Natural History Sciences*. 2018. Vol. 6 (1). P. 33–36. DOI: <https://doi.org/10.4081/nhs.2019.395>.
 22. Burdfield-Steel E.R. and Shuker D.M. The evolutionary ecology of the *Lygaeidae*. *Ecology and Evolution*. 2014. Vol. 4 (11). P. 2278–2301. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.1093>.

REFERENCES

1. Lipińska, H., Lipiński, W., Shuvar, I. et al. (2023). Invasive plant species and their threat to biodiversity. *Plant and Soil Science*, 14 (1), 51–65. DOI: <https://doi.org/10.31548/plant1.2023.51> [in English].
2. Abduloieva, O., Karpenko, N. & Senchylo, O. (2008). Ogruntuvannia «Chornoho spysku» zahrozlyvykh dlia bioriznomanittia invazyinykh vydiv roslyn Ukrainy [Justification of the «Black List» of invasive plant species of Ukraine threatening biodiversity]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Seriya: Biolohiia — Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: Biology*, 53, 108–110 [in Ukrainian].
3. Shuvar, I., Korpita, H., Balkovskiy, V. et al. (2021). *Asclepias syriaca* L. is a threat to biodiversity and agriculture of Ukraine. *BIO Web of Conferences*, 36, (07010). DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213607010> [in English].
4. Zaviolova, L.V. (2017). Vydy invazyinykh roslyn, nebezpechni dlia pryrodnoho fitoriznomanittia ob'ektiv pryrodno-zapovidnoho fondu [The most harmful invasive plant species for native phytodiversity of protected areas of Ukraine]. *Biologichni systemy — Biological systems*, 9 (1), 87–107. DOI: <https://doi.org/10.31861/biosystems2017.01> [in Ukrainian].
5. Gallé, R., Erdélyi, N., Szpisjak, N. et al. (2015). The effect of the invasive *Asclepias syriaca* on the ground-dwelling arthropod fauna. *Biologia*, 70 (1), 104–112. DOI: <https://doi.org/10.1515/biolog-2015-0011> [in English].
6. Somogyi, A.Á., Lőrinczi, G., Kovács, J. & Maák, I.E. (2017). Structure of ant assemblages in planted poplar (*Populus alba*) forests and the effect of the Common milkweed (*Asclepias syriaca*). *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 63 (4), 443–457. DOI: <https://doi.org/10.17109/AZH.63.4.443.2017> [in English].
7. Shevchyk, V.L., Solomakha, V.A. & Voityuk, Yu.O. (1996). *Syntaxonomiia roslynosti ta spysok flory Kanivskoho pryrodnoho zapovidnyka [The syntaxonomy of vegetation and list of the flora of Kaniv Nature reserve]*. Kyiv [in Ukrainian].
8. Didenko, V.I., Kuzemko, A.A., Bezsmertna, O.O. et al. (2022). Vatochnyk zvychainyi (*Asclepias syriaca* L., Apocynaceae Juss.) — invaziino nebezpechnyi medonos flory Ukrainy [Common milkweed (*Asclepias syriaca* L., Apocynaceae Juss.) — the highly invasive and honey bearer species of the Ukrainian flora]. *Bdzhilnytstvo Ukrainy — Beekeeping of Ukraine*, 9, 27–39. DOI: <https://doi.org/10.46913/beekeepingjournal.2022.9.04> [in Ukrainian].
9. Agrawal, A.A. (2005). Natural selection on common milkweed (*Asclepias syriaca*) by a community of specialized insect herbivores. *Evolutionary Ecology Research*, 7, 651–667 [in English].

10. Matter, S.F. (2001). Effects of Above and Below Ground Herbivory by *Tetraopes tetraophthalmus* (Coleoptera: Cerambycidae) on the Growth and Reproduction of *Asclepias syriaca* (Asclepidaceae). *Environmental entomology*, 30 (2), 333–338. DOI: <https://doi.org/10.1603/0046-225X-30.2.333> [in English].
11. IUCN Standards and Petitions Committee. (2023). *Danaus plexippus* ssp. *Plexippus* (amended version of 2022 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2023: e.T194052138A246096271. <https://www.iucnredlist.org/species/194052138/246096271> [in English].
12. Birnbaum, S.S.L. & Abbot, P. (2018). Insect adaptations toward plant toxins in milkweed-herbivores systems — a review. The Netherlands Entomological Society. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 166, 357–366. DOI: <https://doi.org/10.1111/eea.12659> [in English].
13. Kment, P., Štys, P., Exnerová, A. et al. (2009). The distribution of *Tropidothorax leucopterus* in the Czech Republic and Slovakia (Hemiptera: Heteroptera: Lygaeidae). *Acta Musei Moraviae, Scientiae biologicae*, 94, 27–42 [in English].
14. Puchkov, V.H. (1969). *Fauna Ukrainy [Fauna of Ukraine]*. (Vol. 21. Iss. 3). Kyiv [in Ukrainian].
15. Chorny, M.G., Chorna, L.O., Grishchenko, V.M. et al. (2012). *Zapovidna Cherkashchyna [Protected areas in Chercasy region]*. Kyiv [in Ukrainian].
16. Costas, M. & Vázquez, M.A. (1991). Nuevos datos sobre *Lygaeus simulans* Deckert, 1985 (Heteroptera, Lygaeidae) en la Península Ibérica. *Anales de Biología — Annals of Biology*, 17, 23–28 [in Spanish].
17. Deckert, J. (1985). Über *Lygaeus simulans* spec. nov. und *L. equestris* (Linnaeus, 1758), zwei nahe verwandte paläarktische Lygaeinae (Heteroptera, Lygaeidae). *Mitteilungen aus dem Zoologischen Museum in Berlin — Messages from the Zoological Museum in Berlin*, 61 (2), 273–278 [in German].
18. Nechytailo, V.A., Pohrebennyk, V.P. & Hrytsenko, V.V. (2002). *Sudynni roslyny Kanivskoho zapovidnyka i okolys [Vascular plants of the Kaniv nature reserve and its vicinities]*. Kyiv [in Ukrainian].
19. Borysenko, M.M. (2023). Deiaki klimatychni kharakterystyky Kanivskoho pryrodnoho zapovidnyka za materialamy sposterezhen meteostantsii v 1991–2020 rr. [Some climatic characteristics of Kaniv Nature Reserve according to the materials of observations of the weather station during 1991–2020]. *Zberezhenia biolohichnoho ta landshaftnoho riznomanittia na pryrodno-zapovidnykh terytoriakh: materialy konferentsii, prysviachenoi 100-richchii Kanivskoho pryrodnoho zapovidnyka [Preservation of biological and landscape diversity in nature reserves: materials of the conference dedicated to the 100th anniversary of the Kaniv nature reserve]*. (pp. 139–143). Chernivtsi [in Ukrainian].
20. Pericart, J., Aukema, B. & Rieger, Ch. (Eds.). (2001). Superfamily Lygaeoidea Schilling, 1829. Family Lygaeidae Schilling, 1829 — Seedbugs. *Catalogue of the Heteroptera of the Palaearctic Region. Vol. 4. Pentatomomorpha*. Amsterdam [in English].
21. Van der Heyden, T. & Dioli, P. (2018). First records of *Lygaeus simulans* Deckert, 1985 for Albania (Hemiptera: Heteroptera: Lygaeidae: Lygaeinae). *Natural History Sciences*, 6 (1), 33–36. DOI: <https://doi.org/10.4081/nhs.2019.395> [in English].
22. Burdfield-Steel, E.R. & Shuker, D.M. (2014). The evolutionary ecology of the Lygaeidae. *Ecology and Evolution*, 4 (11), 2278–2301. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.1093> [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 07.02.2024

ГІГІЄНІЧНА АКТИВНІСТЬ МЕДОНОСНИХ БДЖІЛ НА ОКРЕМИХ ТЕРИТОРІЯХ УКРАЇНИ

А.М. Атарщикова^{1,2}, Т.Ю. Сенчук^{1,2}, О.М. Жуковський³

¹ ННЦ «Інститут бджільництва імені П.І. Прокоповича» (м. Київ, Україна)

² Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: anniatara@gmail.com; ORCID: 0000-0002-3343-5612

e-mail: senchuktanya.bee@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5272-8947

³ Інститут розведення і генетики тварин імені М.В. Зубця НААН

(с. Чубинське, Бориспільський р-н, Київська обл., Україна)

e-mail: o_zhukorskiy@ukr.net; ORCID: 0000-0002-6515-7004

Висвітлені основні результати оцінки гігієнічної активності бджіл та припущено, що забруднення впливає на поведінкові патерни бджіл та загальну захисну імунну відповідь організму на проникнення зараження. Адже, у Харківській, Сумській і Миколаївській обл. був відзначений підвищений рівень забруднення, у зв'язку із наближенням до зони проведення бойових дій, зокрема фіксації прильотів на територію пасіки, обстрілів та переміщення важкої військової техніки. Нами припущено, що ослаблення резистентності медоносних бджіл до захворювань та погіршення загальної імунної відповіді організму можуть відбуватися внаслідок забруднення навколишнього природного середовища, зокрема корму, пилку та нектару, різними токсичними речовинами. Показано, що найкращі показники активності гігієнічної поведінки бджіл відзначено для території, з найменшим антропогенним навантаженням та найбільш віддаленою від зони проведення бойових дій (Вінницька обл.). Подальші дослідження полягають у відборі бджіл та продуктів бджільництва (мед, обніжжя) для проведення лабораторних досліджень задля оцінки можливості їх використання в біоіндикації забруднення довкілля. Аналізуючи результати досліджень, можна зробити висновок, що в одній групі бджіл показники часу повного видалення загиблого розплоду за 2022–2023 рр. мали нерівномірний характер. Доволі низькі показники гігієнічної активності за дворічний період були відзначені в 2- та 3-й групах бджіл, оскільки середнє значення часу повного видалення загиблого розплоду становило 22,7 і 23,5 год, відповідно. Найменші показники часу видалення загиблого розплоду за весь період спостереження відзначені у 5-й групі бджіл. Однак середні показники цієї групи на 6,5% нижчі, ніж на контролі. Під час вивчення гігієнічної поведінки бджолоосімей нами виявлено залежність ефективності видалення загиблого розплоду від сили сім'ї. Кореляційна залежність між значеннями гігієнічної активності бджіл та сили сім'ї, отриманими у 2022 р. були відмічені у 2-й ($R=0,95$) та 3-й ($R=0,78$) групах. У 2023 р. сильний зв'язок між показниками часу видалення 100% личинок і силою сім'ї визначено у 5-й ($R=0,74$) та 1-й групах ($R=0,72$).

Ключові слова: захисні механізми бджіл, очищення вулика, забруднення, гігієнічна поведінка бджіл, апііндикація, українська степова порода.

ВСТУП

Кліматичні зміни та антропогенне навантаження на екосистеми негативно впливають на стан популяцій комах-запилювачів, зокрема, через погіршення кормової бази (зменшення біорізноманіття та продуктивності рослин-медоносів) [1; 2]. До того ж ці зміни збільшують відсоток ризиків вимирання цих видів. Чинник зміни клімату вплинув на показники динаміки чисельності популяцій медоносної бджо-

ли в Україні. Наприклад, за період 2005–2019 рр. кількість бджолиних сімей зменшилася від 3369,0 тис. до 2633,2 тис. [3].

Використання медоносної бджоли як біологічного індикатора можливе через вивчення таких критеріїв, як морфологічні, екологічні та поведінкові характеристики популяцій цього виду, включаючи їх продуктивність, яка залежить від стану навколишнього природного середовища [1]. Так, зниження температури повітря впродовж цвітіння ріпаку озимого приводило

до зниження виробництва меду до 76% і бджолиного обніжжя до 56%, за словами Лавренко С.О. та ін. [2].

Відомо, що на захисні механізми бджіл та проникнення патогенів чи забруднення у вулик і в організм бджіл впливає кількість особин у сім'ї, швидкість, повнота очищення вулика, а також екологічні чинники [1]. Бджоли активно очищають вулик не лише від тіл особин, що загинули, а й від хворих особин, розплоду, видаляючи їх із гнізда [4].

Отримані дані про гігієнічну поведінку бджіл можуть слугувати не лише індикатором забруднення, але й цінною інформацією для вивчення впливу забруднень на життєдіяльність бджіл та їхню спроможність забезпечувати екосистемні послуги.

Мета досліджень — дослідити активність гігієнічної поведінки бджіл на досліджуваних пасіках задля використання цих сімей для біоіндикації забруднення довкілля.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Бджоли є основними запилювачами в більшості екосистем, а медоносні бджоли (*Apis mellifera* L.) є важливими постачальниками екосистемних послуг і продуктів запилення. Зміна клімату є однією з головних загроз для медоносних бджіл. Зміна клімату є глобальним і багатограним явищем, що серйозно позначиться на поширенні й чисельності широкого спектра екосистем і організмів, включаючи рослини та запилювачів. Більш високі температури можуть віддзеркалювати динаміку популяції видів комах безпосередньо через вплив

на виживання, життєвий цикл, плодючість і розселення. Зміна клімату діє на комах-запилювачів, їх активність і ефективність запилення, зі значним скороченням популяції бджіл та біорізноманіття [1; 2].

Kerr J.T., Pindar A., Galpern P. [5] зазначають, що зміна клімату різко скоротила місяця проживання бджіл і природні джерела їжі. Усі зміни клімату прямо чи опосередковано змінюють місцеві засоби до існування медоносних бджіл і впливають на їхнє здоров'я та благополуччя.

За даними міжнародної організації COLOSS, середній показник загальних втрат бджолиних колоній після зимівлі 2016–2017 рр. на території країн-учасниць становив 20,9%. В Україні втрати сягали 17,9%, що у 1,8 раза вище порівняно з зимівлею 2015–2016 рр. (9,9%). У США втрати становили 21,1%, що є найнижчим показником за останні 12 років. У Канаді мали втрати 25,7%, що є трохи нижче середнього за останні 10 років [6–8]. Втрати колоній медоносних бджіл за останні п'ять років наведено в *табл. 1*.

Подальші чинники були пов'язані зі втратами медоносних бджіл у різних частинах світу: хвороби медоносних бджіл, паразити, хімічні речовини у вулику, агрохімікати, генетично модифіковані (ГМ) рослини, зміни в землекористуванні, практика бджільництва, а також зміна клімату [9]. Хоча втрати колоній часто приписують розладу розпаду колоній — синдрому, пов'язаному зі втратою дорослих працівників, відсутністю мертвих або хворих бджіл у колонії або поблизу неї, а також затримкою вторгнення падальщиків гнізд — цей розлад важко визначити, і його при-

Таблиця 1. Втрати медоносних бджіл у світі, %

Країна	Роки				
	2016–2017	2017–2018	2018–2019	2019–2020	2020–2021
Україна	17,9	15,1	16,2	18,4	19,7
Європа	20,9	16,6	16,4	17,6	18,9
США	21,1	30,7	37,7	38,6	31,1
Канада	25,7	25,1	25,4	26,8	24,6

Примітка: дані підсумовані джерел [6–8].

чини залишаються незрозумілими. Однак, очевидно, що багато втрат колоній виявлені з паразитами, поодинці, разом або в поєднанні з іншими чинниками, такими як пестициди [10].

Імунітет у медоносних бджіл — це комплекс взаємопов'язаних процесів, що поєднують як захист на рівні сім'ї, так і вроджену систему окремої бджоли. Різноманітні та комбіновані стреси, особливо спричинені харчуванням та варроа, можуть мати несприятливі наслідки, що призводять до ще більших проблем. Ми повинні прагнути зменшити стрес для наших бджіл, наскільки це можливо.

Гігієнічна поведінка є важливою формою соціального імунітету для низки видів соціальних комах [11]. Термін гігієнічна поведінка було введено Ротенбюлером (1964 р.) для опису процесу виявлення та ліквідації хворого розплоду дорослими медоносними бджолами (*Apis mellifera* L.) [12]. Поведінкова послідовність розкривання та видалення розплоду, як описано вперше (Rothenbuhler, 1964), є однаковою незалежно від того, чи розплід хворий, уражений кліщами чи мертвий, але цей руховий патерн може бути викликаний виявленням різних запахів, пов'язаних зі станом здоров'я розплоду. У колоніях медоносних бджіл видалення розплоду полягає у видаленні та/або канібалізуванні дорослими бджолами ненормального розплоду з окремих комірок, неушкоджених або по частинах, і викиданні залишків за межі вулика.

Для комах, які живуть у великих групах, гігієнічна поведінка є важливим чинником збереження здоров'я. Вона дає можливість запобігати розповсюдженню хвороботворних мікроорганізмів і паразитів серед членів колонії. Одним із способів гігієнічної поведінки є так звана соціальна імунізація, коли робочі комахи вбивають або видаляють інфікованих або заражених особин із колонії. Це допомагає захистити суперорганізм, який складається з усіх комах одного виду, від інфекції. Цей процес схожий на те, як імунна система людини або тварини вбиває або виводить інфіковані клітини з організму.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження активності гігієнічної активності бджіл проводилися на пасіці ННЦ «Інститут бджільництва імені П.І. Прокіповича», яка розташована в с. Яришів, Могилів-Подільського р-ну, Вінницької обл. (Лісостеп); на пасіках, що розташовані на деокупованих територіях: Харківська обл., Чугуївський р-н, с. Шестакове та Чернігівська обл., Новгород-Сіверський р-н; та пасіках, що розташовані на території, поблизу проведення бойових дій Миколаївська обл., Баштанський р-н, с. Новоолександрівка та Сумська обл., м. Лебедин.

Дослідження здійснювалися впродовж двох років (2022–2023 рр.) на пасіках, які розташовані далеко від великих промислових центрів на відстані 20–40 км, але в безпосередній близькості від автошляхів з інтенсивним рухом (на відстані не більше 4 км).

Під час проведення досліджень зважали на природно-кліматичні умови, стан бджолиних сімей. Оцінюючи стан бджолиних сімей, нами враховувалася їхня сила, кількість запечатаного розплоду. Визначалися стан різновікового розплоду бджіл, стан кришечок запечатаного розплоду.

Гігієнічну здатність бджіл оцінювали «голковим» тестом у триразовій повторності. Для цього в кожній із досліджуваних родин на стільнику з печатним розплодом штучно понівечили сотню запечатаних кришечками комірок розплоду й підраховували кількість вичищених комахами комірок упродовж 4-х, 8-ми, 12-ти, 24-х год [4].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

З огляду на це, ми провели експерименти, щоб вивчити активність гігієнічної поведінки бджіл в умовно забруднених зонах. Для цього експерименту було сформовано чотири дослідні групи та одну контрольну: (1 — Вінницька обл. контроль; 2 — Харківська обл.; 3 — Миколаївська обл.; 4 — Сумська обл.; 5 — Чернігівська обл.). Час очищення стільників, а також видалення загиблих личинок на всіх етапах у піддос-

лідних групах бджіл, порівняно з контролем, значно скоротився, адже середній показник очищення стільників із розплодом становив 18 год у контрольній групі (Вінницька обл.).

Під час експерименту були виявлені групи зі слабо вираженою гігієнічною поведінкою, оскільки час повного видалення загиблого розплоду становив 23–24 год (табл. 2).

Як видно, з табл. 2 у сім'ях 2- та 3-ї груп, початок очищення комірок було відзначено через 6 год. У 1- та 5-й групах чистка комірок була зареєстрована через 4 год. У 4-й групі початок видалення загиблих личинок через 5 год. Повне видалення загиблих личинок у 2-ї групи бджіл відзначали через 23 год, у 4-й — через 24 год, у 4- та 5-й групах — через 20 год, на контролі 100% видалення загиблих личинок відбувалося через 18 год.

Згідно з попередніми дослідженнями Гречки Г.М. та ін. (2021) спостерігаємо, що українські степові бджоли справді швидко починають очищувати комірки на стільниках від загиблих личинок. У досліджуваних бджолиних сім'ях української степової породи на територіях 1, 4, 5 початок очищення комірок був зареєстрований до 5 год [4]. Повне видалення (100%) загиблих личинок у бджолиних сім'ях української степової породи відмічали через 18–20 год для цих територій. Для більш забруднених територій, як пасіки з Харківської та Миколаївської обл., початок видалення зафіксовано через 6 год, а повне видалення через 23–24 год відповідно. Що може бути спричинено значною забрудненістю на цих територіях.

Для поглибленого вивчення механізмів природної резистентності медоносних бджіл, ми простежили динаміку показників сили бджолосімей. Згідно з даними, наведеними в табл. 2, в контрольній групі за 2022–2023 рр. мали невеликі коливання показників сили бджолосімей. Так, у 2023 р. його значення були мінімальними і становили $7,10 \pm 0,34$ вулички.

У 2022 р. показник сили сім'ї у 2-й групі був достовірно ($p < 0,001$) нижчим за контроль на 21,3%, у 5-й — на 9,8%. Мінімально-го значення сила сім'ї досягла у 3-й групі, де її показник був нижчим за контрольний на 24,1%. У 2023 р. нами було відзначено, що сила сім'ї у 5-й групі зросла на 18,7%.

У 4- та 2-й групах спостерігається тенденція до збільшення сили сім'ї щодо значень 2023 р. Щодо контролю цей показник у 4-й групі достовірно ($p < 0,05$) зменшився на 19%, а у 2-й групі ($p < 0,001$) — на 18,5% (табл. 3).

У табл. 4 наведено результати вивчення гігієнічної активності медоносних бджіл.

Аналізуючи результати досліджень, можна зробити висновок, що в одній групі бджіл показники часу повного видалення загиблого розплоду за 2022–2023 рр. мали нерівномірний характер. Доволі низькі показники гігієнічної активності за дворічний період були відзначені в 2- та 3-й групах бджіл, оскільки середнє значення часу повного видалення загиблих личинок становило 22,7 і 23,5 год, відповідно. Найменші показники часу видалення загиблого розплоду за весь період спостереження відзначені у 5-й групі бджіл. Однак середні

Таблиця 2. Показники активності гігієнічної поведінки бджіл

Територія (групи)	Сила сім'ї, кількість вуличок	Показник активності гігієнічної поведінки, год		
		початок видалення	50% личинок видалено	100% личинок видалено
1 (контроль)	9	4	9	18
2	7	6	10	23
3	8	6	10	24
4	8	5	9	20
5	9	4	10	20

Таблиця 3. Результати дослідження сили бджолиної сім'ї

№ групи (території)	Сила бджолиних сімей, кількість вуликів	
	2022 р.	2023 р.
1 (контроль)	8,17±0,22	7,10±0,34
2	6,43±0,29**	7,13±0,64
3	6,20±0,06	7,40±0,16
4	8,27±0,13	6,93±0,32
5	7,37±0,36**	8,43±0,14

Примітка: * $p < 0,05$, ** $p < 0,001$ — щодо контролю.

показники цієї групи на 6,5% нижчі, ніж на контролі.

Під час вивчення гігієнічної поведінки бджолосімей нами виявлено залежність ефективності видалення загиблого розплоду від сили сім'ї. Кореляційна залежність між значеннями гігієнічної активності бджіл та сили сім'ї, отриманими у 2022 р. були визначені у 2- ($R=0,95$) та 3-й ($R=0,78$) групах. У 2023 р. сильний зв'язок між показниками часу видалення 100% личинок і силою сім'ї відмічено у 5- ($R=0,74$), 1-й групах ($R=0,72$).

Слід зазначити, що практично весь баланс показників життєдіяльності бджолосімей у роки досліджень перебував в інтервалі між особливо посушливим 2023 р. та більш сприятливим 2022 р.

ВИСНОВКИ

На основі проведених наукових досліджень можна визначити, що гігієнічна активність бджіл — важливий показник їхнього фізіологічного та поведінкового стану. Встановлено, що забруднення навколишнього середовища має значущий вплив на цей аспект життєдіяльності бджіл. У регіонах, де відзначено підвищений рівень забруднення, зокрема у Харківській, Сумській та Мико-

Таблиця 4. Результати дослідження гігієнічної активності бджіл

№ групи (територія)	Час видалення 100% личинок, год	
	2022 р.	2023 р.
1 (контроль)	20,27±0,91	19,07±0,99
2	22,83±0,50	22,13±0,51
3	23,83±0,27	23,14±0,49
4	20,97±0,70	20,07±0,53
5	18,67±0,47*	17,33±0,48*

Примітка: * $p < 0,05$, ** $p < 0,001$ — щодо контролю.

лаївській обл., спостерігається збільшення впливу на гігієнічну активність бджіл.

Велике значення має розгляд можливих механізмів, які призводять до ослаблення резистентності медоносних бджіл та погіршення загальної імунної відповіді їхнього організму в умовах забрудненого природного середовища. Зокрема, важливо звернути увагу на можливість накопичення токсичних речовин у пилку та нектарі рослин, що також може діяти на фізіологію бджіл та їхню взаємодію з довкіллям.

Для більш детального розгляду проблеми, подальші лабораторні дослідження бджіл та продуктів бджільництва заплановано здійснювати для виявлення наявності різних видів забруднення, як-от важкі метали та пестициди. Це дасть змогу отримати більш широке розуміння патернів гігієнічної поведінки в контексті впливу різноманітних токсинів на життєдіяльність бджіл та їхні колонії.

Отже, розширення спектра досліджень у цьому напрямі буде корисним для розуміння механізмів взаємодії бджіл із забрудненим середовищем та розробки стратегій для збереження їхнього екологічного здоров'я в умовах сучасних екологічних викликів.

ЛІТЕРАТУРА

- Glinski Z. and Kostro K. Zespół masowego giniecia pszczoł nowa groźna choroba pszczoły miodnej. *Życie Weterynaryjne*. 2007. Vol. 82 (08). P. 651–653.
- Лавренко С.О., Соболь О.М., Корбич Н.М., Кри-

- вий В.В. Напрями та перспективи використання комах-запилювачів для біоіндикації стану екосистем та змін клімату в умовах півдня України. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер.: Аеронія і біологія*. 2022. № 47 (1).

- С. 80–90. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.11>.
3. Овдієнко А.М., Овдієнко К.Т., Корбич Н.М. Бджільництво України: виробництво та експорт. *Таврійський науковий вісник*. 2020. Вип. 116. Т. 2. С. 123–129. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.2.18>.
 4. Гречка Г.М., Сенчук Т.Ю., Пелюхня І.С. та ін. Особливості гігієнічності бджіл на тлі інших біологічних ознак. *Бджільництво України*. 2021. № 1 (6). С. 12–17. DOI: <https://doi.org/10.46913/beekeepingjournal.2021.6.02>.
 5. Kerr J.T., Pindar A., Galpern P. et al. Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science*. 2015. Vol. 349. P. 177–180. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aaa7031>.
 6. Федоряк М.М., Тимочко Л.І., Кульманов О.М. та ін. Втрати колоній медоносних бджіл (*Apis mellifera* L.) в Україні за результатами зимівлі 2016–2017 рр. в рамках міжнародного моніторингу. *Біологічні системи*. 2018. Т. 10. Вип. 1. С. 37–46. DOI: <https://doi.org/10.31861/biosystems2018.01.037>.
 7. Fedoriak M.M., Tymochko L.I., Shkrobanets O.O. et al. Results of annual monitoring of honey bee colony winter losses in Ukraine: winter 2019–2020. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series: Ecology*. 2021. Vol. 25. P. 111–124. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-10>.
 8. Gray A., Adjlane N., Arab A. et al. Honey bee colony loss rates in 37 countries using the COLOSS survey for winter 2019–2020: the combined effects of operation size, migration and queen replacement. *Journal of Apicultural Research*. 2023. Vol. 62 (2). P. 204–210. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2113329>.
 9. Vercelli M., Novelli S., Ferrazzi P. et al. A Qualitative Analysis of Beekeepers' Perceptions and Farm Management Adaptations to the Impact of Climate Change on Honey Bees. *Insects*. 2021. Vol. 12 (3). P. 228. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12030228>.
 10. Brosi B.J., Delaplane K.S., Boots M. et al. Ecological and evolutionary approaches to managing honeybee disease. *Nat. Ecol. Evol.* 2017. Vol. 1. P. 1250–1262. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0246-z>.
 11. Cremer S., Armitage S.A. and Schmid-Hempel P. Social immunity. *Curr. Biol.* 2007. Vol. 17. P. 693–702. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.06.008>.
 12. Spivak M. and Danka R.G. Perspectives on hygienic behavior in *Apis mellifera* and other social insects. *Apidologie*. 2021. Vol. 52. P. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00784-z>.

REFERENCES

1. Gliniski, Z. & Kostro, K. (2007). Zespół masowego giniecia pszczol nowa grozna choroba pszczoly miodnej. *Życie Weterynaryjne*, 82 (08), 651–653 [in Polish].
2. Lavrenko, S.O., Sobol, O.M., Korbych, N.M. & Kryvyi, V.V. (2022). Napriamo ta perspektyvy vykorystannia komakh-zaplyuvachiv dlia bioindykatsii stanu ekosystem ta zmin klimatu v umovakh pivdnia Ukrainy [Directions and prospects for the use of pollinating insects for bioindication of the state of ecosystems and climate change in the conditions of southern Ukraine]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya: Ahronomiia i biolohiia — The bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: Agronomy and Biology*, 47 (1), 80–90. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.11> [in Ukrainian].
3. Ovdiienko, A.M., Ovdiienko, K.T. & Korbych, N.M. (2020). Bdzhilnytstvo Ukrainy: vyrobnytstvo ta eksport [Beekeeping in Ukraine: production and export]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk — Tavria Scientific Bulletin*, 116 (2), 123–129. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.2.18> [in Ukrainian].
4. Hrechka, H.M., Senchuk, T.Yu., Peliukhnia, I.S. et al. (2021). Osoblyvosti hiihiienichnosti bdzhil na tli inshykh biolohichnykh oznak [Features of the hygiene of bees against the background of other biological signs]. *Naukovo-vyrobnychiy zhurnal «Bdzhilnytstvo Ukrainy» — Scientific and Production Journal «Beekeeping of Ukraine»*, 1 (6), 12–17. DOI: <https://doi.org/10.46913/beekeepingjournal.2021.6.02> [in Ukrainian].
5. Kerr, J.T., Pindar, A., Galpern, P. et al. (2015). Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science*, 349, 177–180. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aaa7031> [in English].
6. Fedoriak, M.M., Tymochko, L.I., Kulmanov, O.M. et al. (2018). Vtraty kolonii medonosnykh bdzhil (*Apis mellifera* L.) v Ukraini za rezultaty zymivli 2016–2017 rr. v ramkakh mizhnarodnoho monitorynhu [Honey bee (*Apis mellifera* L.) colony losses in Ukraine after the winter of 2016–2017 within the international monitoring]. *Biolohichni systemy — Biological systems*, 10 (1), 37–46. DOI: <https://doi.org/10.31861/biosystems2018.01.037> [in Ukrainian].
7. Fedoriak, M.M., Tymochko, L.I., Shkrobanets, O.O. et al. (2021). Results of annual monitoring of honeybee colony winter losses in Ukraine: winter 2019–2020. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series: Ecology*, (25), 111–124. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-10> [in English].
8. Gray, A., Adjlane, N., Arab, A. et al. (2023). Honey bee colony loss rates in 37 countries using the COLOSS survey for winter 2019–2020: the combined effects of operation size, migration and queen replacement. *Journal of Apicultural Research*, 62 (2), 204–210. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2113329> [in English].
9. Vercelli, M., Novelli, S., Ferrazzi, P. et al. (2021). A Qualitative Analysis of Beekeepers' Perceptions and Farm Management Adaptations to the Impact of Climate Change on Honey Bees. *Insects*, 12 (3), 228. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12030228> [in English].
10. Brosi, B.J., Delaplane, K.S., Boots, M. et al. (2017). Ecological and evolutionary approaches to managing honeybee disease. *Nat. Ecol. Evol.*, 1, 1250–1262.

- DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0246-z> [in English].
11. Cremer, S., Armitage, S.A. & Schmid-Hempel, P. (2007). Social immunity. *Curr. Biol.*, *17*, 693–702. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.06.008> [in English].
12. Spivak, M. & Danka, R.G. (2021). Perspectives on hygienic behavior in *Apis mellifera* and other social insects. *Apidologie*, *52*, 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00784-z> [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 07.02.2024

БАГАТОВЕКТОРНІСТЬ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ

В.В. Сахарнацький

*Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: vasyi.sakharnatskyi@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6001-6675*

Викладено основи багатовекторності еколого-економічного оцінювання водних ресурсів, яке є комплексним підходом до аналізу використання та управління водними ресурсами для прийняття інформованих рішень із визначенням пріоритетів для України. Обґрунтовано, що формування фундаментальних наукових основ проведення оцінювання водних ресурсів України має базуватися на використанні еколого-економічних підходів, зокрема: екологічний вимір, економічний аналіз, соціальний вимір, технічний аналіз, правовий і регуляторний контекст, аналіз ризиків і змін клімату, оцінка водних інфраструктурних проєктів, управління водними конфліктами, моніторинг та оцінка впливу на довкілля, альтернативні сценарії. Проведено дослідження доступних для громадськості даних про оцінювання використання водних ресурсів України. За результатами дослідження нами запропоновано структуру багатовекторної моделі інструментів еколого-економічного механізму оцінювання водних ресурсів, яку систематизовано за взаємопов'язаними інструментальними блоками. Еколого-економічний підхід допомагає забезпечити збалансоване використання водних ресурсів, враховуючи потреби людства та вимоги довкілля. На основі багатовекторності еколого-економічного оцінювання водних ресурсів можуть надаватися рекомендації з охорони довкілля, оптимального використання ресурсів, соціального впливу проєктів, стратегії управління ризиками та інші важливі аспекти. Рекомендовано авторський підхід щодо теоретико-методологічних підходів і методичних положень стосовно формування моделі інструментів еколого-економічного механізму оцінювання водних ресурсів, результативний вплив якого спрямовано на збалансування екологічної, економічної та соціальної складових використання водних ресурсів України. Обґрунтовано, що функціонування різноспрямованих інструментів еколого-економічного механізму забезпечить як екологізацію, так і підвищення економічної та соціальної результативності застосування водних ресурсів, консолідацію управлінських аспектів навколо стратегічних завдань і пріоритетів, визначених Основними засадами державної екологічної політики України на період до 2030 р.

Ключові слова: удосконалення інструментів, еколого-економічний механізм, сталий розвиток, моніторинг, управління водними ресурсами.

ВСТУП

Під час здійснення водогосподарської політики в нашій країні впродовж багатьох десятиліть традиційно вода розглядалася і використовувалася тільки як господарський ресурс для промислового і сільськогосподарського виробництва, отримання електроенергії, а також для скидання стічних вод, що зрештою і призвело до вичерпання природно-екологічного потенціалу водних ресурсів. «Не дивлячись на прийняття 04.10.2016 року Верховною Радою України Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих

підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом» та ряду підзаконних актів на його виконання, система управління водними ресурсами та меліорацією земель в Україні до цього часу залишається, практично, не реформованою ще з пострадянських часів» [1]. Протокол про воду й здоров'я до Конвенції про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер 1992 р. [2] полягає у тому, щоб на всіх відповідних рівнях, як у загальнодержавному масштабі, так і у транскордонному й міжнародному контексті, сприяти охороні здоров'я та благополуччю людей на індивідуальній та колективній основі згідно з принципами

сталого розвитку шляхом удосконалення управління водними ресурсами, включаючи охорону водних екосистем, а також шляхом попередження, контролю і зниження ступеня поширення захворювань, пов'язаних із водою. Нині в Україні до основних проблем у галузі використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів належать [3]:

- забезпечення рівноправного доступу до якісної і безпечної для здоров'я людини питної води і санітарно-профілактичних заходів;
- «задовільний», «поганий» і «дуже поганий» екологічний стан переважної більшості поверхневих водних масивів (екологічний потенціал штучних або істотно змінених масивів поверхневих вод), а також непоодинокі випадки класифікації хімічного стану масивів підземних вод як «недосягнення доброго»;
- зменшення обсягів доступних до використання прісних водних ресурсів, обміління поверхневих водних об'єктів чи вичерпання підземних вод;
- щорічне зростання збитків, завданих повеннями (паводками) чи посухами, що посилюються негативним впливом зміни клімату.

Необхідність обґрунтування та удосконалення інструментів еколого-економічного механізму оцінювання водних ресурсів відповідає напрямам державної політики та євроінтеграційним намірам України, сучасним вимогам екологічного аспекту водокористування. Водночас, враховуючи розширення міжнародних економічних зв'язків, надзвичайно важливо створити умови для універсалізації підходів до формування національних інструментів забезпечення еколого-економічного оцінювання водних ресурсів.

Мета статті — здійснити теоретико-методичне обґрунтування характеристик і організаційно-економічних чинників удосконалення інструментів еколого-економічного оцінювання водних ресурсів України та їх вплив на забезпечення сталого розвитку України й збереження водних ресурсів для майбутніх поколінь.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Загальнонаукові проблеми еколого-економічного оцінювання природних ресурсів України, теоретико-методичне обґрунтування характеристик і організаційно-економічних чинників удосконалення інструментів фінансово-економічного механізму та їх вплив на забезпечення збалансованого використання природних ресурсів досліджено в працях вчених Фурдичка О. [4], Дребот О. [4; 5], Паляничко Н. [4; 6]. У наукових твердженнях Ромашенка М.І. [1] та ін. дослідників вивчено аспекти реформування системи водного господарства в Україні. Наукові засади техніко-технологічного забезпечення відновлення водогосподарсько-меліоративного комплексу в умовах воєнної агресії Російської Федерації проти України досліджено в здобутках Яцюка М. [7]. Системи моніторингу водних ресурсів України визначено в працях Мельниченка С.Г. та ін. [8]. Незважаючи на наявний науковий доробок, еколого-економічні проблеми використання, охорони вод та відтворення водних ресурсів України на сьогодні зумовлюють необхідність подальшого дослідження й обґрунтування широкого спектра теоретичних і прикладних аспектів особливостей їх еколого-економічного оцінювання.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Багатовекторне еколого-економічне оцінювання водних ресурсів є методологією, яка враховує різні аспекти управління й використання водних ресурсів для досягнення балансу між потребами суспільства, збереженням довкілля та забезпеченням економічного розвитку. Цей підхід дає можливість здійснювати глибше та більш комплексне аналіз використання та управління водними ресурсами, враховуючи вплив на довкілля, економіку й суспільство. Він допомагає визначити оптимальні рішення й стратегії для збереження та раціонального використання водних ресурсів. Для досягнення поставленої мети використано методи: діалектичний метод пізнання — для

аналізу законодавчих та нормативних актів і наукових праць вчених відносно проблематики еколого-економічного оцінювання водних ресурсів; аналіз найбільш актуальних проблем функціонування екологічних та економічних інструментів оцінювання водних ресурсів; синтез і логічне узагальнення концептуальних основ необхідності і передумов удосконалення інструментів; монографічний — для виявлення чинників удосконалення інструментів; статистичний — ґрунтується на кількісних показниках, які дають можливість зробити висновок про темпи розвитку процесу; абстрактно-логічний — теоретичні узагальнення та формулювання висновків; метод аналогій — перенесення закономірностей розвитку одного процесу з певними поправками на інший процес чи територію. Дослідження базується на даних Національної академії аграрних наук України, Державної служби статистики України, Державного агентства водних ресурсів України, звітних даних ООН щодо відомостей про оцінювання водних ресурсів України, Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

До завдань, спрямованих на функціонування інструментів еколого-економічного механізму оцінювання водних ресурсів України, належать: запровадження сучасних підходів і практик планування безпеки питної води та санітарно-профілактичних заходів на основі оцінки й управління ризиками; проведення заходів, спрямованих на досягнення цільових показників і індикаторів, встановлених відповідно до статті 6 Протоколу про воду та здоров'я [8], з урахуванням вимог Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» [9] в контексті забезпечення водно-екологічної безпеки України; здійснення на основі оцінки національного водоресурсного потенціалу концептуального перегляду питання регулювання застосування води та забруднення водних об'єктів із метою забезпечення покриття витрат за водні послуги, включаючи

екологічні й ресурсні витрати; створення муніципальних геоінформаційних систем обліку, використання та оцінки екологічного стану водних об'єктів; кількісна оцінка очікуваного екологічного ефекту від реалізації цілей водної політики.

Фінансово-економічний механізм збалансованого використання природних ресурсів включає широкую специфікацію інструментів екологічного, організаційного, економічного та фінансового спрямування [4]. Роль екологічних інструментів виконують екологічна сертифікація, екологічна стандартизація, екологічний аудит тощо. Такі інструменти передбачають сукупність правил, процедур та методик прийняття раціональних екологічних рішень у процесі використання природних ресурсів, що допомагає реалізовувати цілі сталого розвитку [5]. Інструмент управління, як базис функціонування фінансово-економічного механізму, містить чотири компоненти [10]: прямий державний контроль, ринковий механізм координації дій, вплив на колективні дії шляхом надання інформації і механізм переговорів.

Важливим кроком України у забезпеченні взаємної узгодженості, пов'язаної з використанням водних ресурсів, підвищенням рівня водної безпеки та скороченням до прийнятого рівня ризиків з управління водними ресурсами на засадах сталого інтегрованого управління водними ресурсами є схвалення Водної стратегії України на період до 2050 р. та затвердження операційного плану її реалізації у 2022–2024 рр. [3]. В Україні розпочато розроблення методологічних підходів щодо оцінки забруднення водних об'єктів, зокрема, наказом Міндовкілля України від 15.04.2021 р. № 244 затверджено Методику визначення зон, вразливих до (накопичення) нітратів [11]. Також на сьогодні процес у наближенні до Директиви 91/676/ЄЕС Ради Європейського Співтовариства від 12 грудня 1991 р. щодо захисту вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел [12], не відповідає строкам виконання, визначеним планом заходів із виконання Угоди про асоціацію

між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони [13], затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України від 25.10.2017 р. № 1106.

Алгоритм ухвалення організаційно-управлінських рішень для забезпечення збалансованого використання природних ресурсів ґрунтується зокрема на інструменті моніторингу, оцінюванні очікуваних еколого-економічного та соціального ефектів [6]. На підставі даних та інформації, отриманих у результаті здійснення державного моніторингу масивів поверхневих і підземних вод, розробляються плани управління річковими басейнами та оцінюється рівень досягнення екологічних цілей.

За дослідженнями вчених [8], на нинішньому етапі розвитку України відсутня сучасна системи моніторингу водних ресурсів. Окрім того, варто зазначити, що Постановою Кабінету Міністрів України від 01.09. 2021 р. № 922 [14] внесено зміни до Порядку здійснення державного моніторингу вод, що є одним з показників на шляху досягнення стратегічної цілі «Забезпечення необхідної кількості водних ресурсів для відновлення та оздоровлення водних екосистем і досягнення стійкого водозабору та водопостачання». Також Міндовкільля України підготувало зміни до Порядку ведення державного обліку водокористування, які розроблені на виконання рішення РНБО «Про стан водних ресурсів України» [15]. Вони передбачають: доповнення звіту про використання води 2-ТП водгосп інформацією про географічні координати місць водозабору та місць скидання стічних вод; обмін даними між Державним земельним кадастром та Державним водним кадастром; розширення переліку забруднювальних речовин з урахуванням європейського моніторингу.

Завдяки запропонованим змінам інформація про використання води, точки водозабору й скидання стічних вод буде відображатися на геопорталі, що значно спростить аналіз звітів про використання

води та доступ до екологічної інформації. У новій формі відображатимуться такі дані [16]: забруднення небезпечними пріоритетними та басейновими специфічними речовинами, що надходять зі стічними водами; забруднювальні речовини, які передбачені програмою моніторингу якості поверхневих вод; реєстраційний номер хімічної речовини CAS відповідно до міжнародного реєстру хімічної реферативної служби.

Для екологічного оцінювання водних ресурсів екологічний норматив якості поверхневих та підземних вод базується на науково обґрунтованих показниках вмісту забруднювальних речовин та загальнофізичних, біологічних, хімічних і радіаційних показниках якості води. Підхід до оцінювання водних ресурсів із погляду навколишнього середовища розглядає водойми як місце існування водних тварин та рослин і передбачає, що їх основна мета — підтримувати природне середовище.

Національна академія аграрних наук України вже сьогодні, насамперед, через спеціалізовані дослідницькі інституції всебічно долучилася до процесів дослідження наукових засад техніко-технологічного забезпечення відновлення водогосподарсько-меліоративного комплексу в умовах воєнної агресії Російської Федерації проти України. На фоні проблем, пов'язаних зі зміною клімату питання водопостачання, у різних проявах надзвичайно активізувалося. Тим паче, що тільки за підрахунками Світового банку сумарна оцінка збитків та потреб у відновленні меліоративних систем на неокупованих та деокупованих територіях становить 329,12 млрд грн. З них у зоні зрошення (Херсонська, Миколаївська, Запорізька та Дніпропетровська обл.) збитки сягають 51927–95810 грн/га, а на осушених землях (Волинська, Рівненська, Житомирська, Київська, Чернігівська та Сумська обл.) — 44614–62898 грн/га. Насамперед, науковцями ІВПіМ НААН розроблено цілу низку новітніх заходів та технічних рішень щодо ліквідації наслідків руйнувань [7]. Вченими НААН розроблено методичні підходи до визначення секторальних складових водної безпеки

України, встановлено закономірності впливу кліматичних змін на екологічний стан водних об'єктів України, проведено оцінку збитків, яких зазнав сектор зрошення через військові дії та підрив Каховської дамби, внаслідок чого найбільші зрошувальні системи півдня України залишилися без джерела води, так само як більшість населених пунктів без водопостачання [17].

Одним із основних, пов'язаних із кліматичними змінами, негативних чинників для вітчизняного сільського господарства є погіршення умов забезпечення вологою, яка є головним лімітувальним чинником, що обмежує рівень продуктивності рослинництва, знижує ефективність хіміко-техногенних ресурсів та загалом конкурентоспроможність аграрного сектору економіки держави. Внаслідок змін клімату в Україні відбувається вкрай негативний за наслідками процес погіршення умов сумарного вологозабезпечення, в результаті якого у зоні Полісся зникли території надлишкового зволоження та посилюються процеси опустелювання південних регіонів. За дослідженнями ІВПіМ НААН на середньо- та довгострокову перспективу існує висока ймовірність збільшення площ ріллі з недостатнім рівнем зволоження до відповідно 20 млн га (70%) і 25 млн га (80%) з одночасним зменшенням площ орних земель із достатнім зволоженням до 6 і 2 млн га [17].

Економічний підхід до оцінювання водних ресурсів розглядає воду як: основу виробництва, джерело відновлюваної енергії, актив для економічного розвитку, джерело засобів для існування для людей, особливо у сільській місцевості. Культурний підхід до оцінювання водних ресурсів визначає воду як джерело ідентичності, споглядає водоймища як місця духовності й культурних традицій, як місця краси, а також як місця відпочинку та дозвілля. У 2018 р., коли Організація Об'єднаних Націй та Група високого рівня водних ресурсів (HLPW) за підтримки Світового банку запропонували п'ять принципів оцінки водних ресурсів, було закладено основу для перегляду поглядів на те, яке значення має

вода і чому та як ухвалюються рішення про воду. Перший із цих принципів вимагає визнавати та враховувати численні аспекти цінності води для різних груп та інтересів у всіх рішеннях щодо водних ресурсів.

Нами проведено дослідження доступних для громадськості даних про оцінювання використання водних ресурсів України (табл.). За результатами дослідження запропоновано структуру багатовекторної моделі інструментів еколого-економічного механізму оцінювання водних ресурсів, яку систематизовано за взаємопов'язаними інструментальними блоками: екологічний вимір, економічний аналіз, соціальний вимір, технічний аналіз, правовий та регуляторний контекст, аналіз ризиків і змін клімату, оцінка водних інфраструктурних проєктів, управління водними конфліктами, моніторинг та оцінку впливу на довкілля, альтернативні сценарії (рис.). Запропонована модель передбачає використання широкого спектра інструментів.

Підхід багатовекторного еколого-економічного оцінювання водних ресурсів полягає в глибокому аналізі таких компонентів:

1. *Екологічний вимір* — оцінка впливу будь-яких водних проєктів або діяльності на природні екосистеми, водні біоресурси, та якість води. Це включає в себе вивчення впливу на річки, озера, вологі екосистеми та водні види;

2. *Економічний аналіз* — розгляд економічних показників, як-от вартість проєкту, вигоди та витрати, ефективність інвестицій (оцінка ефективності вкладень у водні проєкти з економічної точки зору та їх відповідність стратегічним цілям розвитку);

3. *Соціальний вимір* — оцінка впливу проєктів на суспільство, включаючи зайнятість, якість життя, доступ до води та вплив на місцеві спільноти (інвестиції в інфраструктуру водопостачання мають стати головним пріоритетом для забезпечення загального доступу до води; своєю чергою, заохочення водокористувачів до економії води має стати основним пріоритетом для забезпечення загального доступу до води);

Доступність даних за результатами оцінювання використання водних ресурсів України

Найменування	Мета	Примітки
Національна академія аграрних наук України		
<p>Програма наукових досліджень 4 «Стале водокористування, формування водної безпеки, розвитку меліорації та ефективного використання меліорованих земель в умовах змін клімату».</p> <p>Головна установа — виконавець програми Інститут водних проблем і меліорації НААН</p>	<p>Підвищення ефективності використання водних ресурсів та меліорованих земель в умовах змін клімату та форм землекористування, розроблення законодавчих, організаційно-правових та науково-методичних засад формування водної безпеки держави в умовах змін клімату та її впливу на рівень загроз екологічній та економічній безпеці держави, переведення водного господарства та меліорації земель на модель сталого розвитку</p>	<p>Підпрограма 1 «Формування водної безпеки та відтворення водних ресурсів в умовах змін клімату».</p> <p>Підпрограма 2 «Відновлення та розвиток зрошення і дренажу в Україні в умовах змін клімату».</p> <p>Підпрограма 3 «Використання меліорованих земель в умовах змін клімату»</p>
Статистичний збірник «Довкілля України»		
<ul style="list-style-type: none"> • Забір води з природних водних об'єктів; • Втрати води при транспортуванні; • Використання свіжої води; • Використання прісної води; • Економія забору води за рахунок оборотного та повторно-последовного водопостачання; • Загальне водовідведення; • Скидання зворотних вод у поверхневі водні об'єкти; • Скидання забруднених зворотних вод у поверхневі водні об'єкти; • Скидання забруднених зворотних вод без очищення у поверхневі водні об'єкти; • Скидання недостатньо очищених забруднених зворотних вод у поверхневі водні об'єкти; • Скидання нормативно чистих без очищення зворотних вод у поверхневі водні об'єкти; • Потужність очисних споруд за регіонами; 	<p>Основні показники використання та відведення води</p>	<p>Узагальнена інформація про водокористування в Україні, отримана за адміністративними даними форми звітності № 2-ТП (водгосп) річна «Звіт про використання води», затвердженої наказом Міністерства екології та природних ресурсів від 16.03.2015 № 78 «Про затвердження Порядку ведення державного обліку водокористування»</p>

Продовження таблиці

Найменування	Мета	Примітки
<ul style="list-style-type: none"> Забруднення води забруднювальними речовинами, що складаються разом зі зворотними (стічними) водами 		
Звітні дані ООН		
<p>6.1.1. Частка населення, яке використовує організовані з дотриманням вимог безпеки послуги питного водопостачання;</p> <p>6.2.1. а. Частка населення, яке використовує організовані з дотриманням вимог безпеки послуги санітарії;</p> <p>6.3.1. Частка стічних вод, що пройшли (безпечне) очищення;</p> <p>6.4.1. Ефективність водокористування;</p> <p>6.5.1. Ступінь впровадження комплексного керування водними ресурсами (0-100);</p> <p>6.5.2. Частка транскордонних водних басейнів, охоплених діючими домовленостями про співробітництво у сфері водокористування в Україні</p>	<p>Реалізація прав людини на воду та санітарію, зокрема захист водної, продовольчої та енергетичної безпеки шляхом сталого управління водними ресурсами, надання послуг водопостачання та санітарії всім, підтримка здоров'я людей і засобів до існування, пом'якшення наслідків зміни клімату та екстремальних явищ, а також підтримка й відновлення екосистем і цінних послуг, які вони надають</p>	<p>Прогрес України у досягненні ЦСР 6 «Забезпечення наявності та раціонального використання водних ресурсів та санітарії для всіх».</p> <p>Ефективність водокористування вимірюється як відношення доданої вартості в до- лярах до обсягу води, що використовується. Розглядає водокористування у всіх видах економічної діяльності з акцентом на сільське господарство, промисловість та сферу послуг</p>
Державний водний кадастр		
<p>Розділі «Державного водного кадастру»:</p> <ul style="list-style-type: none"> екорегіони; райони річкових басейнів; річкові суббасейни; водогосподарські ділянки; масиви поверхневих вод; поверхневі води; перехідні води; прибережні води; антропогенні впливи; екологічний стан; хімічний стан; реєстр зон, що охороняються 	<p>Зведення даних щодо водних об'єктів, земель водного фонду, водного режиму, водних ресурсів та їхнього використання, необхідних для соціально-економічної та екологічної оцінки водоресурсного потенціалу і забезпечення сталого розвитку регіональних утворень і функціонування водних екосистем.</p> <p>Систематичне визначення і фіксація кількості та якості водних ресурсів, розташованих на певній території, можливість їх використання</p>	<p>Базується на даних обліку використання поверхневих і підземних вод, наданих водокористувачами, і даних державного моніторингу водних об'єктів</p>

Найменування	Мета	Примітки
<p>Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України</p> <p>Моніторинг:</p> <ul style="list-style-type: none"> • технічного стану гідротехнічних споруд підприємств, установ та організацій, що належать до сфери його управління; • якості вод водогосподарських систем міжгалузевого та сільськогосподарського водопостачання; • якості вод водних об'єктів за радіологічними показниками на територіях, що знали радіоактивного забруднення; • меліоративного стану зрошуваних та осушуваних земель, а також ґрунтів у зонах впливу меліоративних систем; • якості вод на транскордонних ділянках водотоків, визначених відповідно до міждержавних угод про співробітництво на транскордонних водних об'єктах; • за перерформуванням берегів; • вод відповідно до порядку затвердженого Кабінетом Міністрів України 	<p>Дані моніторингу: за адміністративно-територіальним принципом; за водогосподарською організацією; за ознакою транскордонного створу; за районом річкового басейну або суббасейну)</p>	<p>Звіти загального користування</p>

Примітка: сформовано автором на основі даних [17–21].

4. *Технічний аналіз* — аналіз технічних рішень, інженерних аспектів та технологічних параметрів водних проєктів (стратегії щодо покращання якості води в річках та озерах мають надавати перевагу удосконаленню технологій очищення води; зрошувальні системи мають стати більш ефективними для захисту сільськогосподарського виробництва);

5. *Правовий та регуляторний контекст* — врахування усіх відповідних законодавчих та регуляторних вимог, які стосуються водних ресурсів та їх управління (урядам слід приділяти першочергову увагу інноваціям та розробці нових законів і правил, створенню позитивних стимулів для ефективного управління водними ресурсами, використанню командно-контрольних механізмів, штрафів для поліпшення соціальних та екологічних стандартів);

6. *Аналіз ризиків* — оцінка можливих ризиків та розробка стратегій для управління ними, включаючи небезпеки для довкілля й економіки (управління ризиками має бути зосереджено на рішеннях, що базуються на природних механізмах);

7. *Зміни клімату* — оцінка впливу змін клімату на доступність і розподіл водних ресурсів та розроблення адаптаційних заходів;

8. *Оцінка водних інфраструктурних проєктів* — аналіз інфраструктурних рішень, як-от будівництво дамб, каналів, очисних споруд, з точки зору їхнього впливу на водні системи та економіку;

9. *Управління водними конфліктами* — розгляд можливих конфліктів між різними користувачами водних ресурсів та розробка механізмів їх вирішення (стратегічні пріоритети порядку денного глобального управління водними ресурсами; прозорість, доступність до всієї інформації для всіх зацікавлених сторін);



Багатовекторна модель інструментів еколого-економічного механізму оцінювання водних ресурсів України

Примітка: розроблено автором.

10. *Моніторинг та оцінка впливу впродовж певного часу* — моніторинг змін у стані водних ресурсів та ефективністю заходів і внесення необхідних корекцій із часом;

11. *Альтернативні сценарії* — розгляд різних можливих шляхів розвитку водних ресурсів та їхній вплив на довкілля й економіку (керівники, які ухвалюють рішення щодо водних ресурсів, повинні більше використовувати науково обґрунтовані знання під час прийняття рішень).

Також підхід багатовекторного еколого-економічного оцінювання водних ресурсів дає можливість: ухвалювати інформовані рішення щодо управління водними ресурсами з урахуванням різноманітних чинників та інтересів різних зацікавлених сторін; визначати потреби у водних ресурсах на майбутнє та розробляти стратегії для їх забезпечення; планувати заходи щодо підви-

щення ефективності використання водних ресурсів та зменшення негативного впливу на довкілля; сприяння сталому застосуванню водних ресурсів та забезпеченню їхньої довгострокової доступності; співпраці між різними зацікавленими сторонами, включаючи уряди, громадські організації і приватний сектор, для досягнення балансу між водними потребами й вимогами довкілля. Отже, багатовекторне еколого-економічне оцінювання водних ресурсів дає змогу враховувати різноманітні аспекти, які впливають на водні системи та їх використання, і надає інструменти для прийняття обґрунтованих рішень щодо водних ресурсів.

ВИСНОВКИ

Обґрунтовано, що підхід багатовекторного еколого-економічного оцінювання водних ресурсів є механізмом визначення оптимальних шляхів управління цими ресурсами, збереження і підтримки екологічної, економічної та соціальної збалансованості водокористування. За результатами дослідження запропоновано інструменти багатовекторного еколого-економічного оцінювання водних ресурсів: екологічний

вимір, економічний аналіз, соціальний вимір, технічний аналіз, правовий і регуляторний контекст, аналіз ризиків і змін клімату, оцінка водних інфраструктурних проєктів, управління водними конфліктами, моніторинг та оцінку впливу на довкілля, альтернативні сценарії. Сформовано структуру багатовекторної моделі еколого-економічного механізму оцінювання водних ресурсів, яку систематизовано за взаємопов'язаними інструментальними блоками, які гарантують консолідацію управлінських аспектів задля покращання екологічного, економічного й соціального аспектів використання водних ресурсів, а отже виконання завдань та пріоритетів, визначених Основними засадами державної екологічної політики України на період до 2030 р. Важливою областю для перспектив подальших досліджень буде удосконалення функціонування еколого-економічного механізму оцінювання водних ресурсів, який слугуватиме як база для розробки політик, стратегій та проєктів, спрямованих на збалансоване й стале використання водних ресурсів України для забезпечення потреб людства та довкілля.

ЛІТЕРАТУРА

- Romashchenko M., Kuzmych L., Saidak R. et al. Some aspects of reforming the water management system and efficient use of reclaimed lands in Ukraine. *Land Reclamation and Water Management*. 2022. № 2. P. 5–15. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202202-341>.
- Протокол про воду та здоров'я до Конвенції про охорону та використання трансграничних водотоків та міжнародних озер 1992 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_030#Text.
- Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року: розпорядження від 9 грудня 2022 р. № 1134-р. *Кабінет Міністрів України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text>.
- Фурдичко О.І., Дребот О.І., Паляничко Н.І., Даникевич С.М. Інструменти фінансово-економічного механізму збалансованого використання земель лісгосподарського призначення України. *Облік і фінанси*. 2020. № 4 (90). С. 144–157. DOI: [https://doi.org/10.33146/2307-9878-2020-4\(90\)-144-157](https://doi.org/10.33146/2307-9878-2020-4(90)-144-157).
- Дребот О.І. Інституціоналізація лісового сектора економіки в контексті сталого розвитку України. Київ: ДІА, 2012. 336 с.
- Паляничко Н.І. Фінансово-економічне забезпечення збалансованого використання земельних ресурсів України: моногр. / за ред. О.І. Фурдичка. Київ: ДІА, 2017. 240 с.
- Яцюк М. Наукові засади техніко-технологічного забезпечення відновлення водогосподарсько-меліоративного комплексу в умовах воєнної агресії Російської Федерації проти України: наукова доповідь, 13.09.2023 р.
- Мельниченко С.Г., Бабушкіна Р.О., Маркелюк А.В. Аналіз сучасного стану водних біоресурсів України. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2020. № 2 (8). С. 42–47. DOI: <https://doi.org/10.32851/wba.2020.2.4>.
- Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 27.05.2017 р. № 2059-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>.
- Johansson J. and Ranius Th. Biomass outtake and bioenergy development in Sweden: the role of policy and economic presumptions. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2019. Vol. 34(8). P. 771–778. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827581.2019.1691645>.
- Про затвердження Методики визначення зон, вразливих до (накопичення) нітратів: наказ від 15.04.2021 р. № 244. *Міністерство захисту дов-*

- кілля та природних ресурсів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0776-21#n14>.
12. Директива Ради Європейського Співтовариства від 12 грудня 1991 р. щодо захисту вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел (91/676/ЄЕС). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/987_002-91#Text.
 13. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text.
 14. Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України: постанова від 01.09.2021 р. № 922. *Кабінет Міністрів України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-2021-%D0%BF#n2>.
 15. Про стан водних ресурсів України: рішення від 30.07.2021 р. *Рада національної безпеки і оборони України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0049525-21#Text>.
 16. Міндовкілля працює над удосконаленням звіту з використання води. URL: <https://mepg.gov.ua/mindovkillya-pratsuyue-nad-udoskonallyam-zvitu-z-vykorystannya-vody/>.
 17. Інститут водних проблем і меліорації. URL: <https://igim.org.ua/>.
 18. Довкілля України: статистичний збірник. Київ: Державна служба статистики України. URL: <http://ukrstat.gov.ua>.
 19. Звітні дані ООН SDG 6 snapshot in Ukraine. URL: <https://www.sdg6data.org/en/country-or-area/%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%B8%D0%BD%D0%B0>.
 20. Державний водний кадастр. URL: <http://geoportal.davr.gov.ua:81/#ecoregionsSidebar>.
 21. Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України. URL: <http://monitoring.davr.gov.ua/ViewReports/List>.

REFERENCES

1. Romashchenko, M., Kuzmych, L., Saidak, R. et al. (2022). Some aspects of reforming the water management system and efficient use of reclaimed lands in Ukraine. *Land Reclamation and Water Management*, 2, 5–15. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202202-341> [in English].
2. Protokol pro vodu ta zdorovia do Konvntsii pro khoronu ta vykorystannia transkordonnykh vodotokiv ta mizhnarodnykh ozer 1992 roku [Protocol on water and health to the 1992 Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes]. (n.d.). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_030#Text [in Ukrainian].
3. Pro skhvalennia Vodnoi stratehii Ukrainy na period do 2050 roku: rozporiadzhennia vid 9.12.2022. № 1134-r [On the approval of the Water Strategy of Ukraine for the period until 2050: order of 9.12. 2022. No. 1134]. *Kabinet Ministriv Ukrainy — Cabinet of Ministers of Ukraine*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text> [in Ukrainian].
4. Furdychko, O.I., Drebot, O.I., Palianychko, N.I. & Dankevych, S.M. (2020). Instrumenty finansovo-ekonomichnoho mekhanizmu zbalansovanoho vykorystannia zemel lisohospodarskoho pryznachennia Ukrainy [Instruments of the financial and economic mechanism of the balanced use of forestry lands of Ukraine]. *Oblik i finansy — Accounting and finance*, 4 (90), 144–157. DOI: [https://doi.org/10.33146/2307-9878-2020-4\(90\)-144-157](https://doi.org/10.33146/2307-9878-2020-4(90)-144-157) [in Ukrainian].
5. Drebot, O.I. (2012). *Institucionalizacija lisovogo sektora ekonomiky v konteksti stalogo rozvytku Ukraïny [Institutionalization of the forestry sector in the context sustainable development of the Ukraine]*. Kyiv: DIA [in Ukrainian].
6. Palianychko, N.I. & Furdychko, O.I. (Ed.). (2017). *Finansovo-ekonomichne zabezpechennia zbalansovanoho vykorystannia zemelnykh resursiv Ukrainy [Financial and economic provision of balanced use of land resources of Ukraine]*. Kyiv: DIA [in Ukrainian].
7. Yatsyuk, M. (2023). *Naukovi zasady tekhniko-tekhnolohichnoho zabezpechennia vidnovlennia vodohospodarsko-melioratyvnoho kompleksu v umovakh voiennoi ahresii rosiiskoi federatsii proty Ukrainy: Naukova dopovid [Scientific principles of technical and technological support for the restoration of the water management and reclamation complex in the conditions of military aggression of the Russian Federation against Ukraine: Scientific report]*. [in Ukrainian]
8. Melnychenko, S.H., Babushkina, R.O. & Marke-liuk, A.V. (2020). Analiz suchasnoho stanu vodnykh bioresursiv Ukrainy [Analysis of the current state of water bioresources of Ukraine]. *Vodni bioresursy ta akvakultura — Aquatic bioresources and aquaculture*, 2 (8), 42–47. DOI: <https://doi.org/10.32851/wba.2020.2.4> [in Ukrainian].
9. Pro otsinku vplyvu na dovkillia: Zakon Ukrainy vid 27.05.2017 r. № 2059 VIII [On environmental impact assessment: Law of Ukraine from May 27, 2017. No. 2059 VIII]. (2017). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> [in Ukrainian].
10. Johansson, J. & Ranius, Th. (2019). Biomass outtake and bioenergy development in Sweden: the role of policy and economic presumptions. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 34 (8), 771–778. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827581.2019.1691645> [in English].
11. Pro zatverdzhennia Metodyky vyznachennia zon, vrazlyvykh do (nakopychennia) nitrativ: nakaz vid 15.04.2021. № 244 [On the approval of the Methodology for determining zones vulnerable to (accumulation of) nitrates: order of 15.04.2021. No. 244]. *Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy — Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0776-21#n14> [in Ukrainian].
12. Dyrektyva Rady Yevropeiskoho Spivotovarystva vid 12.12.1991 r. shchodo zakhystu vod vid zabrudnennia, sprychynenoho nitratami z silskohospodarskykh

- dzherel (91/676/IeES) [Directive of the Council of the European Community of December 12, 1991 on the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources (91/676/EEC)]. (1991). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/987_002-91#Text [in Ukrainian].
13. Uhoda pro asotsiatsiiu mizh Ukrainoiu, z odniiei storony, ta Yevropeiskym Soiuzom, Yevropeiskym spivtovarystvom z atomnoi enerhii i yikhnimy derzhavamy-chlenamy, z inshoi storony [Association Agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their member states, on the other hand]. (n.d.). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text [in Ukrainian].
 14. Pro vnesennia zmin do deiakyykh postanov Kabinetu Ministriv Ukrainy: postanova vid 01.09.2021. № 922 [Making changes to some resolutions of the Cabinet of Ministers of Ukraine: resolution of 1.09.2021. No. 922]. *Kabinet Ministriv Ukrainy — Cabinet of Ministers of Ukraine*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-2021-%D0%BF#n2> [in Ukrainian].
 15. Pro stan vodnykh resursiv Ukrainy: rishennia vid 30.07.2021 [On the state of water resources of Ukraine: decision of 30.07.2021]. *Rada natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy — National Security and Defense Council of Ukraine*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0049525-21#Text> [in Ukrainian].
 16. Mindovkillia pratsiue nad udoskonalenniam zvituz vykorystannia vody [The Ministry of Environment is working on improving the report on water use]. (n.d.). URL: <https://mepr.gov.ua/mindovkillya-pratsyue-nad-udoskonalenniam-zvitu-z-vykorystannya-vody/> [in Ukrainian].
 17. Instytut vodnykh problem i melioratsii [Institute of Water Problems and Land Reclamation]. (n.d.). URL: <https://igim.org.ua/> [in Ukrainian].
 18. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. Dovkilia Ukrainy: statystychnyi zbirnyk [Environment of Ukraine: statistical collection]. (n.d.). URL: <http://ukrstat.gov.ua> [in Ukrainian].
 19. United Nations SDG 6 snapshot in Ukraine. (n.d.). URL: <https://www.sdg6data.org/en/country-or-area/%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%B8%D0%BD%D0%B0> [in English].
 20. Derzhavnyi vodnyi kadastr [State water cadastre]. (n.d.). URL: <http://geoportal.davr.gov.ua:81/#ecoregionsSidebar> [in Ukrainian].
 21. Monitorynh ta ekolohichna otsinka vodnykh resursiv Ukrainy [Monitoring and ecological assessment of water resources of Ukraine]. (n.d.). URL: <http://monitoring.davr.gov.ua/ViewReports/List> [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 08.02.2024

ABSTRACT

Drebot O., Lazarenko V. Strategic approach to the application of economic levers in environmentally safe agriculture. *Agroecological journal*. 2024. №. 1. P. 6–15.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: Vladlaz93@ukr.net

This article examines the issue of application and implementation of economic levers for ecologically safe goods of agricultural origin as a part of a complex of measures of the general environmental policy of the state in the long term, which is regulated by the current norms of Ukrainian legislation. The toolkit for this category of goods is presented in the form of state and commercial means that regulate the sale and use of environmentally safe goods and services, not limiting their direction only to the greening of the production process of agriculture, but also to the comprehensive solution of modern problems of environmental awareness of society and solution of urgent problems of the economy of nature use. At the same time, both at the level of the average individual and at the level of the industrial consumer of agricultural resources, as well as the interests of the state in the context of ensuring environmental safety standards are taken into account. Consideration of this issue was carried out using the assessment of four categories of economic levers: taxes on ecological products of agriculture, tax differentiation of this category of goods, a system of incentives for the transformation of the agricultural production process to a resource-saving business model, the responsibility of producers for causing damage to the surrounding natural environment of the agricultural sphere as at the state level and at the level of individual producers. It was determined that each of these levers has certain advantages and disadvantages, as a result of which it is appropriate to use them in connection with certain measures within the framework of the general environmental policy for certain goods, while in other cases they are less effective. At the current stage of the development of the environmental policy of Ukraine, the main task is to determine the appropriate tools for solving a specific environmental problem, in particular – the post-war restoration of agricultural resources, the elimination of the consequences of the active phase of hostilities of the Russian-Ukrainian war in the medium and long term, as well as increasing the further level of environmental information support for the purpose of solving environmental problems of the post-war restoration of agricultural resources.

Key words: economics of nature use, environmental policy, agro-industrial complex of Ukraine, post-war recovery, balanced development, rational nature use.

Tertychna O.¹, Ryabukha G.², Kudriashova K.², Shevchenko L.², Miroshnyk N.³ Prospects for the formation of forest-pasture systems: experience of the European Union for Ukraine. *Agroecological journal*. 2024. № 1. P. 16–25.

¹ *Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

² *Chernihiv Polytechnic National University*

³ *Institute for Evolutionary Ecology of NAS of Ukraine*

³ *The Research Institute for Sustainability (RIFS)*
e-mail: olyater@ukr.net

The article examines the conceptual foundations of agroforestry systems, particularly their priority and prospects for developing regenerative agriculture in Ukraine and the EU. The types of agroforestry improvement are highlighted and their role in combating soil erosion, increasing biodiversity and carbon sequestration is determined. The socio-economic value of introducing, maintaining, stabilizing and expanding the practice of forest-pastoral systems is not in doubt from the point of view of providing ecosystem services and assessing risks. The experience of European countries was studied, and the ecological, social and economic advantages of successfully implementing forest-pastoral practices were revealed. Using the example of the traditional agroforestry system of the farming and cattle-breeding region in Portugal, the experience of harmonious cultivation of oaks, cover vegetation, and grazing cows, sheep, goats, and pigs was studied. The possibility of introducing a similar model of the existence and interaction of trees, plants, and livestock under human control in Ukraine was substantiated. It is argued that rational management of such territories aims to balance resource use and preserve the natural environment and biodiversity is an integral process. The advantages and disadvantages of forest pastures are analyzed, and measures for their care and improvement of functioning are proposed. In particular, for the forest-pasture systems of the Ukrainian Carpathians, the integration of summer seasonal grazing of cattle, sheep, and goats on meadows is necessary to support the gradual revival of meadows. The need for soil protection, water regulation, and climate-creating reproduction of the Carpathian region has been proven, taking into account changes in the modern state's spatial structure, productivity, and features. The social value and economic efficiency of introducing forest-pasture systems as an integral nature-oriented solution, which is gaining popularity at the European and world level and is an apt example of the ecological direction of balanced development, is emphasized. Forest pastures in Ukraine are important both for the agricultural sector and for the preserva-

tion of natural resources and biological diversity. It is important to ensure proper management of these territories for the purpose of balanced use of resources and preservation of the natural environment.

Key words: balanced development, regenerative strategies, forest ecosystems, biodiversity, phytocenosis, conservation of natural resources, animals, ecosystem services, social development.

Bondarenko O., Nazarchuk Yu. Prospects and peculiarities of the existence of the genus *Oenothera* L. species outside the places of cultivation in Odesa region. *Agroecological journal*. 2024. № 1. P. 26–37.

Odesa National Mechnykov University

e-mail: vseobovse123@gmail.com

Cultivated plant species can often become elements of the spontaneous flora fraction of ecotopes of varying degrees of anthropogenic transformation. An example is representatives of the genus *Oenothera*. Some of them are able to master extreme man-made ecotopes or take root in natural multi-component coenoses. Work with the species of the genus is complicated, since the issues of their hybridization require additional scientific developments. The species *Oenothera biennis* and *O. rubricaulis* are the most common spontaneous elements of the flora on the territory of Ukraine. At the same time, the following species were noted for several regions of the northern and central (sometimes–eastern) parts of Ukraine: *O. depressa*, *O. erythrosepala*, *O. glazioviana*, *O. hoelscheri*, *O. villosa*. Some species have a limited distribution: *O. missouriensis*, *O. parviflora*, *O. pycnocarpa*, *O. fallax*, *O. speciosa*, *O. tetragona*, *O. wienii*. According to modern literary data, information on the distribution of *Oenothera* species for the Odesa region is either absent or critically scarce. In the herbarium collections of the Odesa National University named after I.I. Mechnikov (MSUD), historical and modern, there are some specimens of representatives of this genus. However, all of them relate mainly to the distribution of *Oenothera biennis* within the borders of Ukraine, or, occasionally, the adjacent territories. The herbarium also contains specimens of other species, but their identification requires the attention of specialists. Literary summaries which contain information about the species of the *Oenothera* genus (*Oenothera biennis*) mainly characterize the centuries-old flora of the Odesa region. In general, there are very few cases of spontaneous growth of *Oenothera* species found in the South of Ukraine. During the floristic survey of ecotopes below the Dniester–Tyligul interfluvium, we found several habitats of *Oenothera glazioviana*. The ecological conditions of the sites differed significantly. In general, most species of the genus *Oenothera* do not have a high invasive potential, however, monitoring the establishment of species of the genus in ecotopes with different anthropogenic load is advisable.

Key words: enotera, spontaneous flora, lower reaches of the Dniester–Tiligul.

Vysochanska M., Mishenin Ye. Household solid waste management systems in Ukraine taking into account European experience. *Agroecological journal*. 2024. № 1. P. 38–43.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: mariya_vysochanska@ukr.net

The article defines that the solid household waste management system is a complex of organizational, technical, economic and social measures aimed at effective collection, sorting, transportation, utilization and processing of solid household waste. An effective solid waste management system helps to ensure sustainable development, reduce the negative impact on the environment and promotes the use of waste as a resource for new products or energy. The article presents the experience of Germany, Sweden and Poland in the field of solid waste management. The peculiarities of such management are described for each of the countries. It has been established that the organization of the solid household waste management system in European countries differs in a number of features, which are determined by environmental standards, social values and strategies of sustainable development, which are aimed at solving problems related to the generation, storage, processing and utilization of waste. We propose directions for improving the solid waste management system in Ukraine, namely: development and implementation of sorting systems in households (will allow more efficient use of resources and ensure their further processing); introduction of extended producer responsibility; increasing the number and development of modern facilities for the processing and secondary processing of solid household waste; attraction of investments for the introduction of the latest technologies in the processing of solid household waste; implementation of effective incentive systems for enterprises engaged in secondary processing of solid household waste; implementation of modern technologies for tracking the volume of solid household waste, its composition and transportation routes; creation of digital platforms for information exchange between waste management, enterprises and citizens; development of programs and educational activities to increase environmental awareness of the community and their active participation in the solid waste management system; revision and improvement of legislation to meet modern environmental requirements; introduction of effective fines and incentives for enterprises and citizens that comply with or violate solid waste management requirements. Improving the solid waste management system in Ukraine can be achieved with the participation of state bodies, the business sector and the public, relying on the best experience of the European Union and other countries.

Key words: secondary raw materials, European countries, collecting, sorting, transportation, utilization, processing, production.

Sova L. Assessment of the losses of ecosystem services of non-flowing waters as a consequence of military intervention. *Agroecological journal*. 2024. № 1. P. 44–52.

National University of Kyiv Mohyla Academy

e-mail: l.sova@ukma.edu.ua

This study explores the challenges in developing a contemporary system of assessment indicators for determining damage to biodiversity. It specifically focuses on the eco-economic aspects of assessing losses in ecosystem services of non-flowing water bodies due to military intervention. To achieve the set objectives, the article utilizes a combination of general scientific and specialized methods from modern ecosystem theory and general ecological assessment, including analysis, synthesis, generalization, systematization, abstract-logical methods, and more. The methodological and theoretical foundation of the research is based on key principles of modern ecosystem theory (following the CICES methodology) regarding the assessment of ecosystems based on selected categories (types) of ecosystem services. In this context, a comprehensive evaluation of lost ecosystem services in non-flowing water bodies is proposed, focusing on major types of potential losses (functional features: provisioning, regulation and support, cultural and recreational services). Using the case study of the destroyed Kakhovka Reservoir, the article applies scoring methods (according to Ya. Didukh) and the «transfer of value» method (according to R. Costanza) to calculate losses in ecosystem services. The article suggests a comprehensive structure for the eco-economic assessment of losses in ecosystem services of non-flowing water bodies, combining two distinct components: ecological and economic. The ecological component may include scoring, expert, and experimental assessments, while the economic component may involve the assessment of losses in ecosystem services of freshwater ecosystems in non-flowing water bodies: a) by their major types (functional features); b) in general. The practical application of the proposed methodological approaches allowed for the monetary assessment of the complex of lost ecosystem services of the Kakhovka Reservoir due to military actions, amounting to approximately \$27,452,889,000, which should be fully compensated by the aggressor state. Future research prospects lie in the theoretical-methodological justification and development of a domestic mechanism for assessing losses in ecosystem services of surface waters, particularly non-flowing water bodies, resulting from military intervention. These prospects are rooted in a comprehensive examination of scoring, expert, and experimental assessment indicators within the framework of general ecological assessment.

Key words: ecosystem approach, water ecosystem; eco-economic assessment, losses, Kakhovka reservoir, military actions.

Hryshchenko O.¹, Palamarchuk R.¹, Tsyhanov I.², Syrovatko V.³, Yatsenko Yu.¹ Content of heavy metals in bottom sediments of drained Kakhovka Reservoir. *Agroecological journal*. 2024. №. 1. P. 53–65.

¹ *State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine»*

² *Zaporizhzhia branch State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine»*

³ *Dnipropetrovsk branch State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine»*

e-mail: grischenkoel@ukr.net

The article highlights the ecological danger of the destruction of the Kakhovka HPP dam and the draining of the Kakhovka Reservoir. The results of experimental studies of the content of mobile compounds and gross forms of heavy metals in five samples of bottom sediments taken from the bottom of drained reservoirs taken on the territory of the Kushugum community of the Zaporizhzhia district of the Zaporizhzhia region. Two samples were taken from the bottom of the former flood zone (Balabyne village), 2 samples — from the bottom of the former limestone quarry, which was connected to the floodplain of the Dnipro (Kushugum village) and 1 sample taken from the open area of the Kakhovka Reservoir (Malokaterynivka village). Based on the results of the research, it was established that the maximum permissible limit (for soil) of mobile compounds of lead (from 2.0 to 4.1 times), zinc (from 2.4 to 5.4 times), cadmium (from 1.9 to 2.5 times) was exceeded, and nickel (from 1.04 to 2.2 times) in all investigated bottom sediment samples. Exceeding the MPC (soil) for the content of gross forms of lead was found in five bottom sediment samples (from 1.1 to 1.5 times). Exceedings of the MPC of the soil by the content of gross forms of cadmium and manganese and mobile compounds of copper, nickel, cobalt and manganese were not detected. The maximum limit for the content of mobile compounds of iron and gross forms of zinc, copper, nickel, cobalt and iron is not regulated. The highest degree of contamination of bottom sediments by the content of: mobile compounds and gross forms of lead and nickel was found in samples taken from the bottom of a former limestone quarry (Kushugum village, Zaporizhzhia region); zinc — in a sample taken from the bottom of the former flood zone in the territory of the town of Balabyne and a sample taken from the open area of the Kakhovka Reservoir in the territory of the town of Malokaterynivka; cadmium — in the samples taken from the bottom of the former limestone quarry in the territory of the town of Balabyne and the sample taken from the open area of the Kakhovka Reservoir in the territory of the town of Malokaterynivka. According to the results of the cor-

relation analysis, an extremely strong dependence was established between the content of mobile compounds of heavy metals and their gross forms – for cobalt ($r=0.96$), cadmium ($r=0.92$), nickel ($r=0.91$), lead ($r=0.88$) and zinc ($r=0.84$).

Key words: destruction of the Kakhovka HPP dam, pollutants, mobile compounds, gross form, lead, cadmium, iron, magnesium, zinc, cobalt, copper, nickel, hazard class, MPC, correlation.

Zhukovskiy O.¹, Krasnov V.², Kurbet T.^{2,4}, Orlov O.^{3,4}, Veselskiy O.² Dynamics of radioactive contamination of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) in the forests of Zhytomyr Polissia (Ukraine) since the Chernobyl Nuclear Accident. Agroecological journal. 2024. № 1. P. 66–74.

¹ *Poliskiy Branch of the Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky*

² *State University «Zhytomyr Polytechnic»*

³ *State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine»*

e-mail: zh_oleh2183@ukr.net

The article presents results of study of levels of radioactive soil contamination and ¹³⁷Cs activity concentration in the aboveground part of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) phytomass and berries on permanent experimental plots in different years since the Chernobyl Nuclear Power Plant accident (forest site type conditions – moist fairly infertile pine site type (B₃), soils – soddy-podzolic sandy-loam on fluvioglacial sands). The research was conducted at the Poliskiy Branch of the Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky over the years 1998–2021, utilized methods generally accepted in forest science and radioecology were used. Results were processed using statistical analysis. To substantiate the research, an official reporting data from forestry enterprises of the Volyn, Rivne and Zhytomyr regions were used. An analytical review of the state of research on this problem revealed that at the last 10–15 years there were no scientific publications on the study of ¹³⁷Cs contamination of lingonberry. It was demonstrated that there was significant reduction in the density of radioactive soil contamination and ¹³⁷Cs activity concentration in the aboveground part of lingonberry phytomass and berries in the forests of the research region over the observation period. It was found that the main part of the total ¹³⁷Cs activity is currently located in the upper (10 cm) layer of the mineral part of the soil – 74.7% where root systems of herbaceous and dwarf-shrub species are concentrated in forest ecosystems. It was established that a considerable content of the radionuclide is retained in the aboveground part of lingonberry phytomass even with low density of radioactive soil contamination. It was

found that in 1998, at relatively low value of soil ¹³⁷Cs contamination density (49 ± 5.6 kBq·m⁻²), specific activity of ¹³⁷Cs in aboveground phytomass of lingonberry was 8043 ± 511 Bq·kg⁻¹, while in 2021 (value of soil ¹³⁷Cs contamination density 22 ± 0.3 kBq·m⁻²) – 1046 ± 182 Bq·kg⁻¹. The values of radionuclide transfer coefficients in 1998 were quite significant and varied within wide range: in the air-dry aboveground phytomass from 33.4 to 164.1 m²·kg⁻¹·10⁻³ and in the fresh berries, from 9.5 to 26.0 m²·kg⁻¹·10⁻³. Dependencies between density of radioactive soil contamination and the content of ¹³⁷Cs in the aboveground part of lingonberry phytomass and berries were calculated, which can be applied in the practice of their harvesting. It was found that lingonberry belongs to the group of plants characterized by the high content of ¹³⁷Cs in the aboveground vegetative phytomass. Harvesting of lingonberry leaves for the production of medicinal products should be restricted in all areas contaminated with ¹³⁷Cs. Lingonberry fresh berries can be harvested in areas with a radioactive soil contamination density up to 74 kBq·m⁻².

Key words: density of ¹³⁷Cs soil contamination, activity concentration, radionuclide, berry plants, radiation toxicology, forest ecosystems.

Chornobrov O. Standing dead wood stocks in forest stands of Middle Dnieper region (Forest-Steppe of Ukraine). Agroecological journal. 2024. № 1. P. 75–84.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: oleksandr.chornobrov@ukr.net

Standing dead wood is an important component of forest ecosystems of temperate zone. The aim of the article is to study the forestry and ecological features of the distribution of standing dead wood stocks in forest stands of Middle Dnieper region (Forest-steppe of Ukraine). The study was carried out based on State forest inventory data of the part of territory of state forest enterprise with a total area of 24558.6 ha in northern part of Cherkasy region. According to forest inventory data standing dead wood was found on area of 3439.4 ha or 14.0% of the total forest area. The average standing dead wood volume was the highest in forests of nature conservation, scientific, historical and cultural purposes (13.0 m³·ha⁻¹), somewhat lower – in forests with commercial purpose (11.0 m³·ha⁻¹), in protective, and recreational and health-improving forests (9.8 m³·ha⁻¹). Standing dead wood was found in the forest stands of 15 tree species with a total stock of 34660 m³. In those forests the average volume of by tree species ranging from 5.0 m³·ha⁻¹ up to 20.0 m³·ha⁻¹, in general for all tree species – 10.1 m³·ha⁻¹. In the stands of the prevailing tree species – Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) and Common oak (*Quercus robur* L.) the average volume of standing dead wood was 10.4 , 9.0 m³·ha⁻¹ and 7.5 m³·ha⁻¹, respectively.

In the stands of the first two specified tree species, a tendency to increase the average volume of standing dead wood with an increase in the age of the stand was revealed. Standing dead wood was found in 17 out of 32 forest types that are represented in the forest fund of the studied object, with an average volume of $5.7 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (fresh eroded hornbeam dibrova) to $22.4 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (damp black alder hrud). In general, standing dead wood stocks are low, which may be caused by forestry activities (cutting). The data we obtained are important for research into the peculiarities of the formation of woody detritus stocks in the forests of Middle Dnieper region of Ukraine and nature protection functions of dead wood.

K e y w o r d s: woody detritus, edatop, forest type, protective stands, forest ecosystem.

Volkohon I. Biological activity of sod-podzolic soils at different levels of radioactive contamination. Agroecological journal. 2024. № 1. P. 85–95.

National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine

e-mail: i_volkohon@ukr.net

The biological (enzymatic) activity of sod-podzolic soils has been investigated in the zone of mandatory resettlement and in the alienation zone of the Chernobyl Nuclear Power Plant (CNPP) under the influence of ionizing radiation. Gas chromatographic methods were used to determine potential nitrogen-fixing (nitrogenase) activity, biochemical methods were applied to study the activity of hydrolytic enzymes (cellulase and protease) responsible for the decomposition of plant residues in the soil, as well as enzymes involved in oxidative-reductive reactions of organic matter transformation (catalase and polyphenoloxidases). Statistical analysis was also employed. The results of the conducted research indicate that a relatively low increase in the total dose rate in the radioactive contamination area (from 0.2 to $1.6 \mu\text{Gy/h}$) at Polygon No. 1 (the zone of mandatory resettlement near the village of Khrystynivka, Narodychi district, Zhytomyr region) stimulated potential nitrogenase activity of soil diazotrophs and the activity of both hydrolytic enzymes and oxidoreductases. High dose rates (up to 22.2, 61.6, and especially up to $84.0 \mu\text{Gy/h}$) at Polygon No. 2, located in the alienation zone of the CNPP directly in the area of the former Red Forest, led to a decrease in soil enzymatic activity. Thus, the obtained results unequivocally demonstrate the different nature of the impact of ionizing radiation levels on the biological activity of sod-podzolic soils. The more radioactive soil in the zone of mandatory resettlement stimulates the enzymatic activity of soil microbiota. This could be attributed to adaptive changes in the development and activity of microorganisms or changes in the composition of their communities, with a prevalence of radio-tolerant microbiota representatives. It is also possible that the manifestation of a radiobiological effect, such as ra-

diation stimulation (radiation hormesis), accelerating the growth and development of microorganisms, may occur. In the alienation zone of the CNPP, with high radioactive contamination, the negative influence of ionizing radiation on the metabolism of soil microorganisms is preserved. The obtained results are highly correlated with the indicators of the abundance of nitrogen-fixing microorganisms in the investigated soils, as well as microorganisms representing the saccharolytic (fungi and cellulolytic bacteria) and peptolytic (ammonifiers) pathways of plant residue degradation, as previously demonstrated by us.

K e y w o r d s: Chernobyl NPP, dose rate of absorbed radiation, zone of unconditional (mandatory) evacuation, exclusion zone, enzymatic activity.

Stetsiuk O., Kyrychenko L., Lyubchenko V., Shtanko I., Ratoshniuk V., Ratoshniuk T. Technological features of organic hop cultivation. Agroecological journal. 2024. № 1. P. 96–107.

Institute of Agriculture of Polissya NAAS

e-mail: alex.stecyuk@ukr.net

The use of organic hop growing technologies reduces the anthropogenic load on the hop farm ecosystem and accelerates the natural process of soil restoration. The productivity of hop cones at the same time approaches the traditional technology. Economic efficiency confirms the high profitability of hops grown using organic agricultural technologies. It is in the range of 38.7–67.3% and exceeded the profitability of hop raw materials by 1.6–2.8 times, which was obtained using traditional growing technology (24.0%). A technological process for growing organic hops on soddy-podzolic soils zone of the Polissya has been developed. To do this, it is necessary to sow green manure in the aisles of hop plantations after pruning underground rhizomes in the spring. Biological preparations for the protection of hops were used during the growing season. Five-year studies showed stable humus content, which did not depend on the agricultural technologies for growing hops. Insignificant acidification of the upper soil layer is observed on variants of traditional technology (from pH 5.9 to pH 5.4). This is due to the annual threefold introduction of ammonium nitrate. The content of easily hydrolyzed nitrogen has decreased by 32%, mobile forms of phosphorus by 13%, exchangeable potassium by 37% in the variants of traditional agricultural technology. Organic technologies have stabilized the content of nitrogen and phosphorus in the soil and there is a trend towards a decrease in exchangeable potassium.

K e y w o r d s: fertilizer system, green manure, soil, alpha acids.

Zabarna T., Chereshtnyuk V. Agro-ecological aspects of soybean (*Glycine max* L.) cultivation in Ukraine. Agroecological journal. 2024. № 1. P. 108–116.

Vinnytsia National Agrarian University

e-mail: zabarna-tanja@ukr.net

The article highlights the role and significance of soybeans in Ukraine as the main legume crop of today. The analysis of literature sources proves that soybean cultivation not only ensures food security of the state, but also acts as an environmental component while maintaining soil fertility. Soybean plants contribute to the nitrogen balance of soils, serving as a good precursor for many crops. They also have a positive impact on the physical, agronomic and physicochemical properties of soils, improving water and nutrient regimes. Soybeans can be grown in main crops, post-harvest crops and post-mowing crops. In addition, soybeans quickly adapt to organic production schemes. The authors characterise the soybean belt in Ukraine and describe the main three soybean growing zones. It is established that the most favourable for soybean cultivation are Vinnytsia, Cherkasy, Khmelnytsky, Poltava, Kirovohrad, Ternopil, Zakarpattia, Chernivtsi and Kyiv regions. Here, soybeans consistently provide stable high productivity of this crop. The analysis of literature publications has confirmed that the problem of sufficient production of adequate vegetable protein can be solved by continuously increasing the production of food resources, primarily protein and oilseeds, the main source of which is soybeans, one of the world's leading crops. Soybean cultivation in Ukraine has undergone global changes over the past 30 years. It has rapidly moved from being a niche crop to a key agricultural commodity. Thanks to soybeans, Ukraine has rapidly increased its production of protein and oilseeds and significantly strengthened its position on the global market. Over the past few years, the area under soybean cultivation in Ukraine has been ranging from 1.5–2.0 million hectares, with the main growing areas being the Forest-Steppe and Polissya. Significantly smaller areas are located in the northern and central Steppe. In the southern Steppe, soybean cultivation is possible only under irrigated conditions. Soybeans are very versatile in their use, and stand out among other crops due to the large number of products made from their raw materials. Soybean seeds are used to make various analogues of meat and dairy products, egg powder substitutes, confectionery, cheeses, canned food, sauces, etc. Scientists have noted that the most favourable meteorological conditions for soybeans are characterised by an annual rainfall of 500–600 mm, of which 250–400 mm should be received during the growing season, and 180–200 mm during the most critical period of flowering — full bean filling. Organic farming is one of the most promising areas of soybean cultivation. Currently, around 80% of soybean seeds are produced using genetically modified material. Therefore, it is important to use the latest zoned varieties of local breeding to green soybean production, as this will help to build up our own organic seed base and improve the environmental component of

soybean cultivation. Thus, soybeans and their products are extremely important for Ukraine's economy as they consistently provide a significant portion of foreign exchange earnings. However, further increase in soybean production requires a reduction in the use of chemical protection products, namely, their maximum possible approximation to natural growing conditions, i.e., organic cultivation.

K e y w o r d s: agrophytocenosis, intercropping, productivity, variety, nitrogen fixation, sown area.

Hunchak M. Biological method of apple trees protection against scab (*Venturia inaequalis* (Cooke) Wint.) in the conditions of Precarpathian province of the Carpathian mountain zone of Ukraine. *Agroecological journal*. 2024. № 1. P. 117–125.

*Chernivtsi branch of the State Institution
«Soils Protection Institute of Ukraine»*

e-mail: chernivtsy_grunt@ukr.net

It was established that the investigated systems of biological protection of apple trees in the conditions of Precarpathian province of Carpathian mountain zone of Ukraine in 2016–2020 showed high effectiveness against apple scab. The highest efficiency was obtained when using protection system No. 4 (Fit Doctor, p., Haubsyn, p. and Trikhodormin, p. and MASTech nutrition technology): the effectiveness against scab on apple leaves was on average 71.6% and against scab on fruits — 73.5%. The biological protection system of apple tree No. 1 (four application of Planryz, vs.) showed 65.7% effectiveness against scab on leaves and 62.7% against scab on fruits. When using the biological protection system No. 2 (four times application of Planryz, vs. and immunoprotect or Bai-Si), the effectiveness against scab on apple leaves was on average 67.2% and against scab on fruits — 66.7%. When using the biological protection system No. 3 (four-time application of Planryz, vs. and Stoller feeding technology), the effectiveness against scab on apple leaves was on average 70.1% and against scab on fruits — 72.5%. The yield of apple fruits when using the biological protection system No. 1 in 2016–2020 averaged 17.1 t/ha, when using the biological protection system No. 2 it was 17.5 t/ha, when using the biological protection system No. 3 the yield was level of 18.3 t/ha and for the use of biological protection system No. 4 — 18.1 t/ha. When applying the biological protection system No. 1 in 2016–2020, they received an average profitability of 322.1% and the income from its use was UAH 6,410.0 from ha. From the application of system No. 2, we received conditional net income in the amount of UAH 8,110.0 from ha and profitability of 262.5%. By using system No. 3, conditional net income was obtained in the amount of UAH 10,932.0 from ha and the profitability of protective measures when using it was 186.3%. When applying the biological system No. 4, they obtained a profitability of 69.2% and an income from its use of UAH 6,300.0 from ha.

Key words: apple plantations, fungal diseases, biological preparations, technical efficiency, economic efficiency.

Yehorova T.¹, Shumyhai I.² Biochemical properties of winter wheat (*Triticum vulgare* L.) under Zn and Cu balance in the soil-culture system. Agroecological journal. 2024. № 1. P. 126–132.

¹ *Institute of Horticulture of NAAS*

² *Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

e-mail: egorova_geochem@ukr.net

The role of trace elements as a factor in the formation of biochemical features of grain crops is a debatable and extremely understudied issue. At the same time, the ecological importance of the balance of nutritional elements for the normal functioning of plants is widely highlighted in biology and agronomy. The purpose of the study was to determine the interdependence of biochemical and biogeochemical features and to determine the influence of the biogeochemical balance of Zn and Cu on the biochemical parameters of wheat in various agrolandscapes of the forest-steppe of Ukraine. We have developed an original method of regional spatial correlation between the balance of micronutrients in the soil-crop system and biochemical indicators of the quality of plant products. Spatial correlation was implemented in wheat growing areas in two agrolandscapes, namely, with dark gray podzolized soils in the Kyiv region and gray podzolized soils in the Vinnytsia region. Regional features of the distribution of Zn and Cu in the agricultural landscape are summarized by their biogeochemical formulas, which highlight 5 evaluation characteristics of the soil-culture system in subsoil rocks, soils, and grain crops. Features of the quality of wheat in the territory of agrolandscapes are determined by statistical data on the content of protein, gluten, and vitreousness. The result of the spatial correlation of the specified characteristics is the determination of the interdependencies of the biochemical parameters of the nutritional quality of wheat and the balance of Zn, Cu in the investigated agrolandscapes. The determined differences between the features of the links of the biogeochemical chains of zinc and copper indicate the possibility of a decrease in the vitreousness and protein in wheat grains as a result of the lack of this nutrient microelement, even under the conditions of their natural and agrogenic accumulation in the soil. The inconsistency of the processes in the soil and the agrocenosis of the agrolandscape indicates the expediency of changes in soil protection and agrochemical melioration systems. Special attention needs to be paid to research on foliar nutrition of wheat culture, as a factor in increasing the biophilicity of nutrient microelements and the corresponding increase in the protein content and vitrification of wheat grain.

Key words: trace elements, product quality, biogeochemistry, agrolandscape, spatial correlation, grain crops.

Beznosko I.¹, Gorgan T.¹, Mosiychuk I.¹, Bilenka O.² Influence of preparations on photosynthetic activity of brewing barley (*Hordeum vulgare* L.) plants and quality indicators of grain. Agroecological journal. 2024. № 1. P. 133–142.

¹ *Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

² *Institute of vegetable growing and melon growing of NAAS*

e-mail: beznoscoirina@gmail.com

Plant growth regulators and microfertilizers stimulate the accumulation of chlorophyll by plants, increase the photosynthetic activity of chloroplasts and the net productivity of photosynthesis, and contribute to increasing the resistance of crops to diseases and adverse environmental factors. The aim of the work was to study the effect of preparations on the photosynthetic activity of the plants of spring barley varieties in order to achieve the proper quality of the grown products. In the research, barley plants of the spring brewing direction of the varieties Sebastian (Seyet Planteforedling I/S, Denmark) and Salomi (SAATEN Union, France) were used, which were treated with plant growth stimulator VimpeL 2, complex microfertilizer ORACUL multicomplex, a mixture of VimpeL 2 + ORACUL multi-complex and control area – water treatment. The article presents the results that show that the content of the sum of chlorophylls a and b in spring barley leaves under the influence of preparations VimpeL 2 and ORACUL multicomplex plays a major role in increasing the productivity of the crop. Accumulation of protein and starch in spring barley grains is one of the most important indicators for growing varieties of brewing value. In all variants of the study, the accumulation of protein in the grain turned out to be within acceptable limits for malting barley (8.75–10.02%), only in the control variant it remained too low. The use of preparations VimpeL 2 and ORACUL multicomplex in a mixture contributes to the accumulation of starch in spring barley grains of both studied varieties. At the same time, treatment with only growth promoter or only micro-fertilizer stimulates the accumulation of starch in the grain compared to the control, but remains at a low level for the brewing industry. The most active growth of the assimilation surface of spring barley plants in all phases of growth was observed after treatment with VimpeL 2 mixture in combination with ORACUL multicomplex. The conducted studies established a significant influence of microfertilizers and growth stimulants on the photosynthetic potential of spring barley crops. During the entire vegetation period of spring barley, the highest photosynthetic potential of crops (FPP) – 859.2 m²/ha × day was determined in the Sebastian variety with the addition of microfertilizer

and growth stimulator. The high-quality work of the leaf apparatus of plants is determined by the net productivity of photosynthesis (NPP). The highest PPF index was observed on the Sebastian variety in the variant treated with a mixture of microfertilizer and growth stimulator, which is 27% higher than in the control variant. Therefore, spring barley grain of the required quality can be obtained only under the conditions of optimal combination of the use of preparations of different spectrum of action.

Key words: growth stimulant, microfertilizer, leaf surface area, photosynthetic potential, net photosynthetic productivity, chlorophyll, protein, starch.

Mudrak O.¹, Morozova T.² Growth processes of *Triticum durum* Dest. on the formaldehyde concentration gradient in microcosmic models. Agroecological journal. 2024. № 1. P. 143–151.

¹ Public Higher Educational Establishment
«Vinnytsia Academy of Continuing Education»

² National Transport University
e-mail: tetiana.morozova@ukr.net

Under modern conditions, against the background of military invasion of the Russian Federation in Ukraine, there is an increase in threats to ecological security of the state, including as a result of violation of technological regime of operation of numerous potentially dangerous objects. Particular attention should be paid to such impurities as suspended substances (aerosols, dust), carbon monoxide, nitrogen dioxide, formaldehyde, the concentrations of which in the air have been rapidly increasing recently. Formaldehyde is one of the most well-known air pollutants, which is a permanent component of the atmosphere. The average content of formaldehyde in the air in the cities of Ukraine in the pre-war period exceeded the maximum permissible concentration. Its significant growth depends significantly on meteorological conditions. In comparison with other impurities, a clear seasonal dynamics is manifested with an increase in concentration in the summer period. The course of monthly concentrations of formaldehyde varies depending on the air temperature and the intensity of direct solar radiation on a horizontal surface. The article summarizes scientific data on specifics of formaldehyde effect on the growth processes of *Triticum durum* Dest. Phytotesting was carried out by forming microcultivators and planting calibrated seeds of Favorit wheat in them. The subject of the study was coleoptiles (model objects sensitive to the influence of exogenous factors, separated from three-day-old ethylated seedlings). Based on application of microcosm models method, it is shown inhibition of the growth of the aerial part of *T. durum* Dest. seedlings on the formaldehyde concentration gradient, which affects the growth rate of coleoptiles. It was established that the growth of coleoptiles decreases with increasing concentration. It is substantiated that the

value of the effective concentration (EC₅₀) is 0.875 MPC. Inhibition of *T. durum* Dest. seed germination at the formaldehyde concentration gradient under the influence of all studied concentrations was shown. The smallest percentage of germinated seeds (5.6%) was found at a concentration that corresponds to the maximum permissible one. The reaction of wheat seeds to the concentration of formaldehyde, corresponding to 0.1 MPC and 2 MPC, was almost the same (28.6% and 30.3%, respectively). The highest percentage of seed germination (82.2%) was observed under the influence of formaldehyde at a concentration of 0.5 MPC.

Key words: phytotoxicity, coleoptiles, embryonic roots, aerogenic pollution, phytotesting.

Borysenko M.¹, Shevchyk V.¹, Solomakha I.² Feeding of lygaeid bugs (*Heteroptera, Lygaeidae*) on the common milkweed (*Asclepias syriaca* L.) in Kaniv Nature Reserve. Agroecological journal. 2024. № 1. P. 152–157.

¹ NSC «Institute of Biology and Medicine»
Taras Shevchenko Nation University

² Institute of Agroecology and Environmental
Management of NAAS

e-mail: i_solo@ukr.net

The paper presents data on the feeding of three species of bugs of the *Lygaeidae* family: *Tropidothorax leucopterus* (Goeze, 1778), *Lygaeus equestris* (Linnaeus, 1758) and *L. simulans* (Deckert, 1985) on common milkweed (*Asclepias syriaca* L.) in the conditions of Kaniv nature reserve, located in the forest-steppe zone in the central part of Ukraine. Common milkweed is a dangerous invasive species, a transformer of ecosystems, which poses a threat to local plant and animal communities. There is a problem in finding methods of limiting the spread of populations of this species. Among the factors that contribute to its limitation may be the consumption of common milkweed by animals, in particular by phytophagous insects. The study was conducted during the growing seasons of 2022 and 2023 on the grassland area overgrown with tree and shrub vegetation on the hills on the right bank of the Dnipro River. *Tropidothorax leucopterus* were feeding on sap from the vegetative body of common milkweed plants, being, for the most part, on the lower surface of the leaves. They formed dense groups, and the number of bugs on one plant could reach up to 100 individuals. Both the nymphs (from June to September) and the adults (from August to October) of this species were noted. During the study, it was also observed feeding of this species on the white swallow-wort (*Vincetoxicum hirundinaria* Medik.), which is a traditional food object for this insect. But only single individuals of these bugs were found on the white swallow-wort. The representatives of the other two species, *Lygaeus equestris* and *L. simulans*, fed on the content of the common milkweed seeds

during the fruit opening period. Separate individuals or small groups (up to 20 individuals) were observed, adults and single nymphs were noted. The transition of native phytophagous species to feeding on the common milkweed can facilitate its inclusion in food chains in local ecosystems and limit the spread of this aggressive introduced plant species.

Key words: phytophagous insects, *Tropidothorax leucopterus*, *Lygaeus equestris*, *Lygaeus simulans*, introduced species.

Atarshchykova A.^{1,2}, Senchuk T.^{1,2}, Zhukorskyi O.³ Hygiene activity of bees in certain territories of Ukraine. Agroecological journal. 2024. № 1. P. 158–164.

¹ *Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

² *Institute of beekeeping named after P.I. Prokopovych*

³ *Institute of Animal Breeding and Genetics named after M.V. Zubets of NAAS*

e-mail: amiatara@gmail.com

The main results of the evaluation of the hygienic activity of bees are highlighted and it is assumed that pollution affects the behavioral patterns of bees and the general protective immune response of the body to the penetration of infection. After all, in Kharkiv, Sumy and Mykolaiv regions, an increased level of pollution was noted in connection with the approach to the zone of hostilities, in particular, the recording of flights to the territory of the apiary, shelling and the movement of heavy military equipment. We assumed that the weakening of the resistance of honey bees to diseases and the deterioration of the general immune response of the body may occur as a result of contamination of the natural environment, including feed, pollen and nectar, with various toxic substances. These substances can include heavy metals, radioactive elements, pesticides, herbicides, fungicides, antibiotics and other chemical compounds that negatively affect the health of bees and the quality of beekeeping products. It is shown that the best indicators of the activity of the hygienic behavior of bees were noted for the territory with the least anthropogenic load and the most distant from the zone of hostilities (Vinnytsia region). The hygienic behavior of bees is that they identify and remove infected or dead larvae from the hive, which can be a source of disease and parasites. This behavior is an important factor in the survival of bee colonies and maintaining productivity. Further studies include the selection of bees and beekeeping products (honey, honey) for laboratory studies to assess the possibility of their use in bioindication of environmental pollution. Bioindication is a method of measuring the quality of the environment using living organisms that respond to changes in environmental conditions. Bees are sensitive bioindicators because they forage over a large area and reflect the

level of contamination in their products. Analyzing the research results, it can be concluded that in one group of bees, the indicators of the time of complete removal of dead brood for 2022–2023 had an uneven character. Fairly low indicators of hygienic activity over the two-year period were noted in the 2nd and 3rd groups of bees, as the average value of the time of complete removal of dead larvae was 22.7 and 23.5 hours, respectively. The lowest indicators of the time of removal of dead brood over the entire period of observation were noted in the 5th group of bees. However, the average indicators of this group are 6.5% lower than in the control group. When studying the hygienic behavior of bee colonies, we found that the efficiency of removing dead brood depends on the strength of the colony. A correlation between the values of hygienic activity of bees and family strength obtained in 2022 was found in the 2nd ($R=0.95$) and 3rd ($R=0.78$) groups. In 2023, a strong relationship between the indicators of the time of removal of 100% of larvae and the strength of the family was noted in the 5th ($R=0.74$), 1st groups ($R=0.72$). This indicates that stronger bee colonies have a greater ability to self-cleanse from dangerous factors that may threaten their health and productivity.

Key words: protective mechanisms of bees, cleaning of the hive, pollution, hygienic behavior of bees, apiindication, Ukrainian steppe breed.

Sakharnatskyi V. Multivectority of ecological and economic assessment of water resources of Ukraine. Agroecological journal. 2024. № 1. P. 165–176.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: vasyi.sakharnatskyi@gmail.com

The financial and economic mechanism of balanced use of natural resources includes a wide specification of environmental, organizational, economic and financial instruments. The author's vision of the multi-vector nature of the ecological and economic assessment of water resources is outlined, which is a comprehensive approach to the analysis of the use and management of water resources for making informed decisions with the determination of priorities for Ukraine. It is substantiated that formation of fundamental scientific bases for the evaluation of water resources of Ukraine should be based on the use of ecological and economic approaches, in particular: ecological dimension, economic analysis, social dimension, technical analysis, legal and regulatory context, risk analysis, climate change analysis, water infrastructure projects, water conflict management, environmental impact monitoring and assessment, alternative scenarios. A study of publicly available data on the assessment of the use of water resources of Ukraine was conducted. Based on the results of the study, we proposed the structure of a multi-vector model of the tools of the ecological and economic mechanism of water resources assessment, which is

systematized according to interrelated instrumental blocks: ecological dimension – assessment of the impact of any water projects or activities on natural ecosystems, aquatic biological resources, and water quality; economic analysis – consideration of economic indicators; social dimension – assessment of the impact of projects on society; technical analysis – analysis of technical solutions, engineering aspects and technological parameters of water projects; legal and regulatory context – consideration of relevant legislative and regulatory requirements; analysis – risk assessment of possible risks and development of strategies for their management. The ecological and economic approach helps ensure balanced use of water resources, taking into account the needs of humanity and the requirements of the environment. On the basis of the multi-vector nature of the ecological and economic assessment of water resources, recommendations on environmental protection, optimal use of resources, social impact of projects, risk management

strategies and other important aspects can be provided. The author's approach to theoretical-methodological approaches and methodological provisions regarding the formation of a model of tools for the ecological-economic mechanism of water resources assessment, the effective influence of which is aimed at balancing the ecological, economic and social components of the use of water resources of Ukraine, is proposed. It is substantiated that the functioning of multi-directional tools of the ecological and economic mechanism will ensure both greening and increasing the economic and social effectiveness of the use of water resources, the consolidation of management aspects around strategic tasks and priorities determined by the Basic principles of the state environmental policy of Ukraine for the period up to 2030.

Key words: improvement of tools, ecological and economic mechanism, sustainable development, monitoring, management of water resources.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

АТАРЩИКОВА Анна Миколаївна, Інститут агроекології і природокористування; ННЦ «Інститут бджільництва імені П.І. Прокоповича», м. Київ, Україна (e-mail: Anniatara@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3343-5612>)

БЕЗНОСКО Ірина Володимирівна, кандидат біологічних наук, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: beznoskoirina@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2217-5165>)

БІЛЕНЬКА Ольга Миколаївна, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут овочівництва і баштанництва НААН, с. Селекційне, Харківський р-н, Харківська обл., Україна (e-mail: bilenskaom@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4710-6772>)

БОНДАРЕНКО Олена Юріївна, кандидат біологічних наук, доцент, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, м. Одеса, Україна (e-mail: vseobovse123@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2383-6615>)

БОРИСЕНКО Микола Миколайович, доктор філософії, Канівський природний заповідник ННЦ «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, м. Канів, Черкаська обл., Україна (e-mail: mborysenko2905@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9352-8706>)

ВЕСЕЛЬСЬКИЙ Олександр Олександрович, Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна (e-mail: phd101232_voo@student.ztu.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8913-6798>)

ВИСОЧАНСЬКА Марія Ярославівна, доктор економічних наук, старший дослідник, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: mariya_vysochanska@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2116-9991>)

ВОЛКОГОН Іван Віталійович, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна (e-mail: i_volkohon@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2987-2235>)

ГОРГАН Тетяна Михайлівна, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: Tanja.micaela@gmail.com)

ГРИЩЕНКО Олена Миколаївна, кандидат сільськогосподарських наук, ДУ «Інститут охо-

рони ґрунтів України», м. Київ, Україна (e-mail: grischenkoel@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1241-7183>)

ГУНЧАК Михайло Володимирович, кандидат сільськогосподарських наук, Чернівецька філія ДУ «Держґрунтохорона», м. Чернівці, Україна (e-mail: gunchak00@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3521-8531>)

ДРЕБОТ Оксана Іванівна, доктор економічних наук, професор, академік НААН, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: drebot_oksana@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2681-1074>)

ЕГОРОВА Тетяна Михайлівна, доктор сільськогосподарських наук, доцент, Інститут садівництва НААН, м. Київ, Україна (e-mail: egorova_geochem@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0038-2148-7738>)

ЖУКОВСЬКИЙ Олег Валерійович, кандидат сільськогосподарських наук, Поліський філіал Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г.М. Висоцького, с. Довжик, Житомирська обл., Україна (e-mail: zh_oleh2183@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3351-9856>)

ЖУКОРСЬКИЙ Остап Мирославович, доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН, Інститут розведення і генетики тварин імені М.В. Зубця НААН, с. Чубинське, Київська обл., Україна (e-mail: o_zhukorskiy@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6515-7004>)

ЗАБАРНА Тетяна Анатоліївна, кандидат сільськогосподарських наук, Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна (e-mail: zabarna-tanja@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6796-7625>)

КИРИЧЕНКО Леся Петрівна, Інститут сільськогосподарства Полісся НААН, м. Житомир, Україна (e-mail: lkuych@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8604-2524>)

КРАСНОВ Володимир Павлович, доктор сільськогосподарських наук, професор, Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна (e-mail: volodkrasnov@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1779-9544>)

КУДРЯШОВА Катерина Миколаївна, кандидат економічних наук, Національний універ-

ситет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів, Україна (e-mail: Katrinchernigov@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5626-0958>)

КУРБЕТ Тетяна Володимирівна, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир; Поліський філіал Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г.М. Висоцького, с. Довжик, Житомирська обл., Україна (e-mail: kpn_ktv@ztnu.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7820-4263>)

ЛАЗАРЕНКО Владислав Ігорович, доктор філософії, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: Vladlaz93@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8376-4668>)

ЛЮБЧЕНКО Владислав Владиславович, кандидат технічних наук, Інститут сільського господарства Полісся НААН, м. Житомир, Україна (e-mail: vladovich70@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-000-7558-8054>)

МІРОШНИК Наталія Володимирівна, кандидат біологічних наук, ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України», м. Київ, Україна; Науково-дослідний інститут сталого розвитку (Потсдам, Німеччина) (e-mail: natalie.miroshnik@outlook.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3507-6585>)

МІШЕНІН Євген Васильович, доктор економічних наук, професор, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: y.mishenin@uabs.sumdu.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1597-3270>)

МОРОЗОВА Тетяна Василівна, кандидат біологічних наук, доцент, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна (e-mail: tetiana.morozova@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4836-1035>)

МОСІЙЧУК Ірина Іванівна, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: mii97.dolina@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4979-9645>)

МУДРАК Олександр Васильович, доктор сільськогосподарських наук, професор, КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти», м. Вінниця, Україна (e-mail: ov_mudrak@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1776-6120>)

НАЗАРЧУК Юлія Сергіївна, кандидат біологічних наук, доцент, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, м. Одеса,

Україна (e-mail: bio_july@hotmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7046-958X>)

ОРЛОВ Олександр Олександрович, кандидат біологічних наук, ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», м. Київ; Поліський філіал Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г.М. Висоцького, с. Довжик, Житомирська обл., Україна (e-mail: orlov.botany@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2923-5324>)

ПАЛАМАРЧУК Роман Павлович, ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, Україна (e-mail: prp777@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5965-1305>)

РАТОШНЮК Віктор Іванович, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут сільського господарства Полісся НААН, м. Житомир, Україна (e-mail: viktor.ratoshnyuk@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6937-7541>)

РАТОШНЮК Тетяна Миколаївна, кандидат економічних наук, старший науковий співробітник, Інститут сільського господарства Полісся НААН, м. Житомир, Україна (e-mail: viktor.ratoshnyuk@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1097-0874>)

РЯБУХА Галіна Ігорівна, кандидат економічних наук, Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів, Україна (e-mail: g.ryabukha@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2146-7489>)

САХАРНАЦЬКИЙ Василь Васильович, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: vasyi.sakharnatskiy@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6001-6675>)

СЕНЧУК Тетяна Юріївна, Інститут агроекології і природокористування НААН; ННЦ «Інститут бджільництва імені П.І. Прокоповича», м. Київ, Україна (e-mail: senchuktanya.bee@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5272-8947>)

СИРОВАТКО Володимир Олексійович, кандидат біологічних наук, Дніпропетровська філія ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», с. Дослідне, Дніпровський р-н, Дніпропетровська обл., Україна (e-mail: dnipropetrovsk@iogu.gov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2576-3269>)

СОВА Людмила Олегівна, Національний університет «Кієво-Могилянська академія», м. Київ, Україна (e-mail: l.sova@ukma.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3197-9616>)

СОЛОМАХА Ігор Володимирович, кандидат біологічних наук, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: i_solo@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8853-2973>)

СТЕЦЮК Олександр Петрович, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут сільського господарства Полісся НААН, м. Житомир, Україна (e-mail: alex.stecyuk@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8872-537X>)

ТЕРТИЧНА Ольга Василівна, доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: olyater@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9514-2858>)

ЦИГАНОВ Ігор Володимирович, Запорізька філія ДУ «Держгрунтохорона», м. Запоріжжя, Україна (e-mail: zpgrunt@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3478-9968>)

ЧЕРЕШНЮК Володимир Вікторович, Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна (e-mail: chereshnyk_yova@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0048-2447>)

ЧОРНОБРОВ Олександр Юрійович, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: oleksandr.chornobrov@ukr.net;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8251-1573>)

ШЕВЧЕНКО Любов Анатоліївна, кандидат сільськогосподарських наук, Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів, Україна (e-mail: shevchenkolyubov@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2637-1999>)

ШЕВЧИК Василь Леонівич, кандидат біологічних наук, Канівський природний заповідник ННЦ «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, м. Канів, Черкаська обл., Україна (e-mail: shewol@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5981-3776>)

ШТАНЬКО Ігор Павлович, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут сільського господарства Полісся НААН, м. Житомир, Україна (e-mail: shtanko_hop@meta.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7847-0772>)

ШУМИГАЙ Інна Вікторівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: innashum27@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0432-2651>)

ЯЦЕНКО Юлія Миколаївна, ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, Україна (e-mail: yuliya_yatsenko@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3402-3093>)

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

Редакція «Агроекологічного журналу» приймає до розгляду оригінальні статті, підготовлені на високому науковому рівні, що мають важливе теоретичне, практичне значення та висвітлення результатів наукових досліджень вітчизняних та зарубіжних авторів. У журналі публікуються закінчені експериментальні і дослідні роботи, а також оглядові статті, які раніше не були надруковані за наступними напрямками: актуальні проблеми екології, аграрні науки і продовольство, біологічні науки, економічні науки, лісове господарство, технологія виробництва та переробки продукції тваринництва.

Кожна стаття обов'язково проходить перевірку на плагіат та анонімне рецензування провідними фахівцями з відповідного наукового напрямку. За висновком рецензента стаття може бути рекомендована до друку чи відхилена або повернена для доопрацювання.

Подані статті мають бути структуровані відповідно до вимог ВАК України щодо наукових статей (Постанова Президії ВАК України від 15.01.2003 р. № 7-05/1), зокрема:

- постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
- аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання визначеної проблеми, і на які спирається автор;
- виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття;
- викладення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
- висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

Статті подають українською або англійською мовами. До статті додають анотації українською та англійською мовами обсягом 200–250 слів (1800–2000 знаків), ключові слова (5–10), що не дублюють назву,

а також відомості про авторів (прізвища, ініціали, місце їх роботи/навчання).

Публікації англійською мовою приймаються тільки за умови їх професійного перекладу. За подачі англійського варіанту, перекладеного з допомогою інтернет-перекладачів (напр., Google), матеріали будуть відхилені.

До розгляду приймаються наукові статті обсягом від 10 до 20 сторінок, включаючи всі матеріали (анотації, таблиці, рисунки та бібліографічні списки).

У тексті статті мають бути виділені розділи «ВСТУП», «АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ» «МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ», «РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ», «ВИСНОВКИ», «ЛІТЕРАТУРА», «REFERENCES».

Розділ «Аналіз останніх досліджень і публікацій», повинен розкрити стан досліджень проблеми у вітчизняній і світовій науковій літературі за останні 5 років.

В описі методики досліджень наводиться детальне викладення методів і методик з посиланням на першоджерело (схеми дослідів, повторність, методи лабораторного аналізу, методи статистичної обробки). Якщо в тексті є аббревіатура, подавати її в дужках при першому згадуванні. Автори мають дотримуватися правильної галузевої термінології (див. ДСТУ, СОУ), терміни мають бути уніфікованими.

Викладення результатів досліджень має заключатись не в переказі змісту таблиць і рисунків, а у визначенні закономірностей, що з них випливають. В обговоренні результатів слід показати причинно-наслідкові зв'язки між одержаними ефектами, порівняти одержані дані та показати їх новизну. Повторення одних і тих самих даних у тексті, таблицях, графіках неприпустимо.

Література (до 20 джерел) мовою оригіналу оформлюється згідно із ДСТУ 8302: 2015. На кожне джерело в списку літератури повинно бути хоча б одне посилання

в тексті, яке слід вказувати у квадратних дужках із послідовною нумерацією.

Редакція рекомендує уникати посилання на роботи 10-річної давнини і більше. Посилання на власні роботи авторів статті допускається, однак не більше 10% від загальної кількості джерел.

References здійснюється відповідно до стандарту APA (American Psychological Association).

Макет сторінки. Для оригінал-макета використовується формат паперу — А4, орієнтація — книжкова, поля з усіх сторін — 20 мм.

Гарнітури, розміри шрифтів та начертання: для заголовку статті та розділів: Times New Roman — 14 пт, напівжирний, прописні, великі літери; для УДК, основного тексту, анотацій, відомостей про авторів, підписів до рисунків та назв таблиць, літератури, references: Times New Roman — 14 пт; міжрядковий інтервал — 1,5; абзац — 1,25 см.

Типографські погодження та стилі. По центру у першому рядку сторінки вирівнюється тематична рубрика, до якої автор

подав свою публікацію. Надалі індекс УДК набирається і вирівнюється за лівим краєм. Заголовок статті набирається в наступному за УДК рядку і вирівнюється посередині. Потім вказують: прізвища, ініціали авторів (ліміт — п'ять осіб), нижче — місце роботи/навчання, адреса електронної пошти, код ORCID автора (курсивом). Якщо автори з різних установ, після прізвища авторів та назв установ, у яких працюють/навчаються автори, слід проставити один і той самий верхній цифровий індекс. Далі розташовують анотацію та ключові слова мовою оригіналу статті (курсив); текст статті; відомості про авторів.

Таблиці мають бути виконані в Microsoft Office Word; **формули** — у редакторі формул MS Equation; **графіки** — у Microsoft Office Excel, **фотографії** — у форматі .jpg, .tif або надавати оригінали. Також всі рисунки (графіки) додатково надсилаються на окремому аркуші — у Microsoft Office Excel.

Відповідальність за зміст статті несе автор. Рукописів редакція не повертає.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

ІНСТИТУТ АГРОЕКОЛОГІЇ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ НААН

вул. Метрологічна, 12, Київ-143, 03143.

Довідки за тел. (044) 522-60-62;

e-mail: agroecojournal@ukr.net