

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

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ



3 • 2022

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 08 вересня 2022 р.)**

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

Підписано до друку 14.09.2022 р. Формат 70×100/16. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 12,26. Наклад 250 прим. Зам. № АЕ-02–22.
Оригінал-макет та друк ТОВ «ДІА». 03022, Київ-22, вул. Васильківська, 45

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

3 • 2022



КИЇВ • 2022

EDITORIAL BOARD

Editor-in-chief

FURDYCHKO O., Doctor of Economic and Agricultural Science, Professor,
Full member of NAAS

Executive Secretary

SHUMYHAI I., Candidate of Agricultural Science

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

НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

3 • 2022

AGROECOLOGICAL JOURNAL

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор

ФУРДИЧКО О.І., доктор економічних і сільськогосподарських наук,
професор, академік НААН

Відповідальний секретар

ШУМИГАЙ І.В., кандидат сільськогосподарських наук

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

- Коніщук В.В., Смаголь В.М., Шумигай І.В.**
Природоохоронне значення торфових екосистем Плав-ІІ, Ямни Житомирсько-го Полісся
- Мудрак О.В., Магдійчук А.П.**
Просторово-часовий аналіз фітоценотичного покриву гірничо-промислових ландшафтів Правобережного Лісостепу
- Говоруха В.М., Гаврилюк О.А., Біда І.О., Гладка Г.В., Таширев О.Б.**
Оптимізація метанового зброджування сільськогосподарських відходів
- Поліщук В.М.**
Аспекти розвитку екологічного оподаткування в контексті трансформації економіки Європи
- Орлов О.О., Коніщук В.В., Мартиненко В.В.**
Трансформація фітостроми гідрозаказника «Речиця» внаслідок видобутку бурштину
- Парфенюк А.І., Косовська Н.А., Бородай В.В., Туровнік Ю.А.**
Кореневі екзометаболіти як екологічний чинник у взаємодії культурних рослин з ґрунтовими мікроорганізмами
- Стецюк О.П., Кириченко Л.П., Ратошнюк В.І., Штанько І.П., Любченко В.В., Льїнський Ю.М.**
Біологізовані агроприйоми як основа сталого функціонування агробіоценозу хмелеплантації
- Свиденко Л.В., Глущенко Л.А., Вергун О.М., Гудзь Н.І., Марковська О.Є.**
Оцінка впливу погодних умов на господарсько-цінні ознаки *Lavandula angustifolia* L. в умовах Херсонської обл.
- Дем'янюк О.С., Кічігіна О.О., Цибро Ю.А., Куценко Н.І., Куценко О.О., Власенко І.С.**
Розроблення методичних підходів визначення схожості насіння звіробою звичайного (*Hypericum perforatum* L.)
- 6 **Konishchuk V., Smagol V., Shumyhai I.**
Nature conservation significance of Plav-II, Yamny peat ecosystems of Zhytomyr region
- 17 **Mudrak O., Mahdiichuk A.**
Space-time analysis of the phytocenotic cover of the mining and industrial landscapes of the right-bank forest-steppe
- 26 **Hovorukha V., Havryliuk O., Bida I., Gladka G., Tashyrev O.**
Optimization of methane fermentation of agricultural waste
- 35 **Polishchuk V.**
Aspects of ecological taxation development in the context of European economy transformation
- 47 **Orlov O., Konishchuk V., Martynenko V.**
Phytostroma transformation of «Rechitsia» hydrological reservoir as a consequence of amber mining
- 62 **Parfenyuk A., Kosovska N., Borodai V., Turovnik Yu.**
Root exometabolites as an ecological factor in the interaction between cultivated plants and soil microorganisms
- 75 **Stetsiuk O., Kyrychenko L., Ratoshniuk V., Shtanko I., Lyubchenko V., Ilyinsky Y.**
Biologized agricultural methods as a basis for sustainable functioning of a hop plantation
- 84 **Svydenko L., Hlushchenko L., Vergun O., Gudz N., Markovska O.**
Assessment of the weather conditions influence on the economic and value characteristics of *Lavandula angustifolia* L. in the conditions of Kherson region
- 94 **Demyanyuk O., Kichigina O., Tsybro Yu., Kutsenko N., Kutsenko O., Vlasenko I.**
Developing methodological approaches for determining seed germination of common St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.)

| | | |
|---|-----|--|
| Кирильчук А.М. Хлібопекарський потенціал тритикале озимого (<i>Triticosecale Wittmack</i> el. Camus) поліського екотипу | 106 | Kirilchuk A. Breadmaking potential of winter triticale (<i>Triticosecale Wittmack</i> el. Camus) of Polissia ecotype |
| Бунас А.А., Ткач Є.Д., Дворецький В.В., Дворецька О.М. Ефективність застосування препарату Біо-Систем Power, КС (BIOSYSTEM POWER, SC) для прискорення деструкції після-жнивних решток | 119 | Bunas A., Tkach E., Dvoretzky V., Dvoretzka O. Efficiency of using Biosystem POWER, KS (BioSistem POWER, SC) preparation to accelerate the destruction of post-harvest residues |
| Гунчак М.В., Собко В.І., Романова С.А., Грищенко О.М. Вплив біопрепарату Філазоніт на родючість ґрунту та врожайність сільськогосподарських культур | 126 | Gunchak M., Sobko V., Romanova S., Hryshchenko O. Influence of Philazonit biopreparation on the fertility of soil and yield of agricultural crops |
| Зайцев Ю.О., Грищенко О.М., Романова С.А., Зайцева І.О. Вплив бойових дій на вміст валових форм важких металів у ґрунтах Сумського та Охтирського р-нів Сумської обл. | 136 | Zaitsev Yu., Hryshchenko O., Romanova S., Zaitseva I. Influence of combat actions on the content of gross forms of heavy metals in the soils of Sumy and Okhtyrka districts of Sumy region |
| Зайцев Ю.О., Собко В. І., Кожевнікова В.Л., Лобанова О.П., Кирильчук А.М. Класифікація процесів, що спричиняють деградацію земельних угідь | 150 | Zaitsev Y., Sobko V., Kozhevnikova V., Lobanova O., Kyrylchuk A. Classification of processes that cause land degradation |
| Мудрак О.В., Слєпцова І.В. Особливості впливу стресорних біотичних чинників на організм ссавців | 160 | Mudrak O., Sliptsova I. Particularity of environmental biotic factors impact on the mammal's organism |
| Реферати | 167 | Abstract |
| Відомості про авторів | 176 | Information about the authors |
| Правила для авторів | 179 | Rules for the authors |

ПРИРОДООХОРОННЕ ЗНАЧЕННЯ ТОРФОВИХ ЕКОСИСТЕМ ПЛАВ-II, ЯМНИ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ

В.В. Коніщук¹, В.М. Смаголь², І.В. Шумигай¹

¹ Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: konishchuk_vasily@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4115-5642
e-mail: innashum27@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0432-2651

² Інститут зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України (м. Київ, Україна)
e-mail: v.smagol@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5277-2422

Проаналізовано матеріали Звіту з оцінки впливу на довкілля видобування торфу родовища Плав-II в адміністративних межах Олевського р-ну Житомирської обл. Проведено природоохоронні дослідження торфових екосистем Плав-II, Ямни. Розробку торфових родовищ не рекомендовано. Територія планованої діяльності (південна ділянка родовища торфу «Ямни») частково знаходиться на території об'єкта Смарагдової мережі України (Emerald) Slovechanskiy Kriazh (UA 0000173). З видів тварин, занесених до Червоної книги України зафіксовано *Lanius excubitor* Linnaeus, 1758 — вид, віднесений до Додатку II Бернської конвенції, ратифікованої Україною. Уперше виявлено нові місцезростання шести видів рослин, занесених до Червоної книги України: *Carex chordorhiza* Ehrh., *Carex heleonastes* Ehrh. *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó (*Orchis incarnata* L.), *Utricularia intermedia* Hayne, *Salix lapponum* L., *Salix myrtilloides* L. Відмічені регіонально рідкісні види флори: *Parnassia palustris* L., *Nymphaea candida* C. Presl., *Carex limosa* L. Моніторингові дослідження потребують такі рідкісні види вищих судинних рослин, як *Andromeda polifolia* L., *Drosera rotundifolia* L., *Rhynchospora alba* (L.) Vahl та ін. Типи оселиці із резолюцій Конвенції про збереження дикої флори і фауни та природних середовищ існування в Європі (Бернська конвенція): C1.222 Floating *Hydrocharis morsus-ranae* rafts — *Hydrocharis morsus-ranae*, D2.3 Transition mires and quaking bogs. Однією з особливостей флори і рослинності урочища Плав-II є відсутність адвентивних, інвазійних видів рослин (за виключенням *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott). Натомість на осушеному торфовищі Ямни фітоінвазія проявляється масово, але порівняно тут значно більше та соціологічно важливе різноманіття орнітофауни. Рекомендовано створити заказник місцевого значення Плав-II, а також обгрунтувати реабілітаційні, ренатуралізаційні заходи на торфовищі Ямни.

Ключові слова: водно-болотні угіддя, торф, оцінка впливу на довкілля, охорона природи, Червона книга України, екомережа Emerald.

ВСТУП

Питання збереження рідкісних водно-болотних угідь, торфовищ в умовах глобальних змін довкілля, навколишнього природного середовища є актуальними і пріоритетними. Особливої уваги заслуговують уразливі до антропогенного впливу, змін клімату мало змінені торфові екосистеми. Понад 50% водно-болотних угідь України було осушено, значна частина меліоративних систем нині знаходиться у

занедбаному стані. Потребують ретельного дослідження перспективні до заповідання торфовища. Також варто проводити моніторинг трансформованих торфових екосистем із метою їх раціонального використання, охорони і збереження [1].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У 2018 р. було підготовлено Звіт з оцінки впливу на довкілля видобування торфу родовища Плав-II в адміністративних ме-

жах Олевського р-ну Житомирської обл. Товариством із обмеженою відповідальністю «Софія-Біо» [2]. Метою розробників було отримання дозволу від Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України на видобування торфу на паливо, добрива тощо. Проведений нами аналіз матеріалів, а також згідно з результатами польових експедиційних досліджень довів про недоцільність розробки торфовищ, зокрема попередню інформацію ми у співавторстві публікували у тезах конференції [3].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Застосовано класичні методи екологічних досліджень, проведені рекогносцирувальні обстеження торфових екосистем, здійснено геоботанічні описи, прокладено маршрути обліку видів фауни. Використані матеріали власних досліджень, а також фондові дані Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України (Департамент геології і використання надр, Геоінформ) [4], звіт з оцінки впливу на довкілля [2]. Латинські, українські назви видів флори, фауни вказано згідно з сучасними номенклатурними вимогами і кодексами. Автор представлений фото (рис. 1–4, 7–9) – В.В. Коніщук.

Окремі рослини згідно з біоетичними нормами, а також зразки торфу відібрані до колекції торфосапропелетики і гербарію Інституту агроєкології і природокористування НААН.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Досліджувані території розташовані у Коростенському р-ні (раніше Олевський та Овруцький р-ни) Житомирської обл. у межах Житомирського Полісся. На північний схід від досліджуваних ділянок розташовується Поліський природний заповідник, поруч наявні об'єкти природно-заповідного фонду загальнодержавного значення: лісовий заказник «Поясківський», ландшафтний заказник «Плотниця», гідрологічний заказник «Дідове озе-

ро», ботанічний заказник «Городницький». Територія планованої діяльності (південна ділянка родовища торфу «Ямни») частково знаходиться на території об'єкта Смарагдової мережі України (Emerald Slovechanskiy Kriazh (UA 0000173)). За геоботанічним районуванням України [6] досліджені території належать до Голарктичного домініону Європейської широколистянолісової області Східноєвропейської (Сарматської) провінції хвойно-широколистяних та широколистяних лісів Поліської підпровінції хвойно-широколистяних лісів на межі двох округів (Верхньопригітський округ соснових, вільхових, ялинових (фрагментарно) лісів, заплавних лук та оліго-, мезо-, евтрофних боліт і Центральнополіський округ грабово-дубових, дубових, дубово-соснових лісів, заплавних лук та евтрофних боліт). Згідно з торфоболотним районуванням Поліської підпровінції це область Центрального Полісся Убортський р-н [6].

Згідно з зоогеографічним районуванням [7], регіон досліджень розташовується в межах підділянки Центрального (Житомирського та Київського) Полісся – ділянки Східноєвропейського мішаного лісу – району мішаного, листяного лісу та Лісостепу – Східноєвропейського округу – Європейсько-Західносибірської провінції – Бореальної Європейсько-Сибірської підобласті – Палеоарктичної області.

Торфове родовище «Плав-II» знаходиться у долині р. Плав, яка є частково осушеною, з меліоративними каналами, мостами, заплавною водоймою (ставок). Торфовище являє собою мезотрофне, осокково-сфагнове болото із р'ямами (смугами сосни звичайної різних болотних форм, зокрема це – заплавна, Літвінова, Вількома), також наявні плави із сфагновими мохами, журавлиною болотною, росичками та ін. Водно-болотний комплекс слабо змінений, вологозабезпечення достатнє для розвитку гідрофільної, гелофільної рослинності. Однак ризики трансформації природних комплексів істотні щодо природного заліснення, зменшення обводнення у результаті суміжних осушувальних

меліорацій, а також антропогенного впливу: сінокосіння, випасання худоби поруч, збирання журавлини, засмічення, а також розглядалося питання торфовидобутку, що, на нашу думку, є категорично неприпустимим.

Згідно з затвердженим Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 15 лютого 2021 р. № 111 «ПЕРЕЛІК видів рослин та грибів, що заносяться до Червоної книги України (рослинний світ)» на дослідженій території торфовища (болота) «Плав-ІІ» у червні 2021 р. виявлено шість видів (табл. 1).

Варто зазначити, що фітосозологічні дослідження потребують продовження, оскільки можуть бути виявлені нові види із різним природоохоронним статусом, у т. ч. окрім судинних рослин це водорості, мохи, лишайники, гриби.

Рослинність торфовища (болота) Плав-ІІ доволі типова для Полісся, наяв-

ні осоково-сфагнові болотні фітоценози, корінні (аборигенні) угруповання гідрогелофітів.

Перелік виявлених видів гідрогелофітів місцевої флори подано нижче:

Equisetum palustre L., *Thelypteris palustris* Schott, *Pinus sylvestris* L., *Calla palustris* L., *Carex acuta* L., *C. caespitosa* L., *C. chordorrhiza* Ehrh., *C. flava* L., *C. heleonastes* Ehrh., *C. lasiocarpa* Ehrh., *C. limosa* L., *C. nigra* (L.) Reichard, *C. pseudocyperus* L., *C. rostrata* Stokes, *C. vesicaria* L., *Eriophorum vaginatum* L., *E. polystachyon* L., *E. latifolium* Hoppe, *Hydrocharis morsus-ranae* L., *Stratiotes aloides* L., *Juncus conglomeratus* L., *J. effusus* L., *Lemna minor* L., *L. trisulca* L., *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid., *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó, *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Poa palustris* L., *P. turfosa* Litv., *Typha latifolia* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Betula pubescens* Ehrh., *Myosotis palustris* (L.) L.,

Таблиця 1. Види вищих судинних рослин Червоної книги України у межах урочища Плав-ІІ

| Назва відділу українська | Назва відділу латинська | Назва родини українська | Назва родини латинська | Назва виду українська | Назва виду латинська | Категорія виду |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--|--|----------------|
| Покрито-насінні | <i>Magnoliophyta (Angiospermae)</i> | Осокові | <i>Cyperaceae</i> | Осока тонкокореневищна | <i>Carex chordorrhiza</i> Ehrh. | Вразливий |
| Покрито-насінні | <i>Magnoliophyta (Angiospermae)</i> | Осокові | <i>Cyperaceae</i> | Осока торфова | <i>Carex heleonastes</i> Ehrh. | Зникаючий |
| Покрито-насінні | <i>Magnoliophyta (Angiospermae)</i> | Зозулинцеві (Орхідні) | <i>Orchidaceae</i> | Зозульки м'ясочервоні (пальчатокорінник м'ясочервоний) | <i>Dactylorhiza incarnata</i> (L.) Soó (<i>Orchis incarnata</i> L.) | Вразливий |
| Покрито-насінні | <i>Magnoliophyta (Angiospermae)</i> | Пухирникові | <i>Lentibulariaceae</i> | Пухирник середній | <i>Utricularia intermedia</i> Hayne | Вразливий |
| Покрито-насінні | <i>Magnoliophyta (Angiospermae)</i> | Вербові | <i>Salicaceae</i> | Верба лапландська | <i>Salix lapponum</i> L. | Вразливий |
| Покрито-насінні | <i>Magnoliophyta (Angiospermae)</i> | Вербові | <i>Salicaceae</i> | Верба чорнична | <i>Salix myrtilloides</i> L. | Вразливий |

Stellaria palustris Retz., *Andromeda polifolia* L., *Drosera rotundifolia* L., *Utricularia intermedia* Hayne, *Lythrum salicaria* L., *Menyanthes trifoliata* L., *Nymphaea candida* J. et C. Persl, *Nuphar lutea* (L.) Smith, *Parnassia palustris* L., *Lysimachia vulgaris* L., *Naumburgia thyrsi-*

flora (L.) Reichenb., *Frangula alnus* Mill., *Ranunculus flammula* L., *Comarum palustre* L., *Galium palustre* L., *Salix caprea* L., *S. lapponum* L., *S. myrtilloides* L., *S. triandra* L., *Pedicularis palustris* L., *Veronica scutellata* L., *Oxycoccus palustris* Pers., *Rhynchospora alba* (L.)



Рис. 1. Пальчатокорінник м'ясочервоний, верби лапландська і чорнична



Рис. 2. Пухирник середній



Рис. 3. Осоково-сфагновий плав із пухівкою



Рис. 4. Загальний вигляд урочища Плав-ІІ

Vahl, *Vaccinium uliginosum* L., *Valeriana exaltata* Mikan, *Viola palustris* L.

Із Списку регіонально рідкісних видів, який затверджений рішенням Житомирської обласної ради від 08.09.2010 № 1162, відмічені: білозір болотний (*Parnassia pa-*

lustris L.), латаття сніжно-біле (*Nymphaea candida* C. Presl.), осока багнова (*Carex limosa* L.).

Моніторингових досліджень потребують також такі рідкісні види, як *Andromeda polifolia* L. (андромеда багатоліста), *Dro-*

sera rotundifolia L. (росичка круглолиста), *Rhynchospora alba* (L.) Vahl (ринхоспора біла) та ін.

Типи оселищ із резолюцій Конвенції про збереження дикої флори і фауни та природних середовищ існування в Європі (Бернська конвенція) [8]:

C1.222 Floating *Hydrocharis morsus-ranae* rafts — Вільноплаваючі скупчення *Hydrocharis morsus-ranae*;

D2.3 Transition mires and quaking bogs — Перехідні болота та сплавини.

Однією з особливостей флори і рослинності є відсутність адвентивних, інвазійних видів рослин (за виключенням *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott). Торфовище Плав-II має високу природоохоронну цінність, зокрема щодо збереження раритетного фіторізноманіття мезотрофних (перехідних) боліт.

Фауністичний комплекс характеризується незначним видовим розмаїттям. Переважання осокових формацій, а також відкритого ландшафту створює вкрай бідні кормозахисні умови для більшості видів ссавців, зокрема, копитних (*Artiodactyla*), гризунів (*Rodentia*), хижих (*Carnivora*) тощо. Разом із тим, вологий біотоп, безсумнівно, сприяє розмноженню та успішному існуванню комах ряду двокрилих (*Diptera*), які з одного боку, створюють додатковий чинник тиску на більшість видів ссавців, а з іншого — принадають (в темний час доби) рукокрилих (*Chiroptera*), які в повному видовому складі занесені до Червоної книги України. Видовий склад орнітофауни також бідний, представлений кількома типовими та широко розповсюдженими видами ряду горобині (*Passeriformes*), які, незважаючи на наявність, фіксуються епізодично. Відтак використання торфовища в якості мисливських угідь чи резервату охоронюваних видів тварин не має жодних підстав. Натомість широкий спектр рідкісних видів рослин визначає необхідність охорони цього локалітету, а також системи подальшого фонового моніторингу.

Це є перспективний об'єкт моніторингу мінералізації торфу за змін клімату. Згідно з даними 1981 р. [2], середня зольність про-

мислових (балансових) запасів торфу — 13%, середній ступінь розкладання — 28, вміст CaO — 0,65, Fe₂O₃ — 1,11, Al₂O₃ — 1,89, P₂O₅ — 0,29, гумінових кислот — 36,0, середній вміст бітумів, екстрагованих бензолом — 34%, кислотність водної витяжки рН — 4,6. Згідно з матеріалами Торфового фонду УСССР [2] торфовище Плав-II від Олевська 27 км, площа 156 га, промислові відклади 113 га, потужність — 1,52–3,10 м, запаси торфу — 1718 м³ (R 10-35/21-33 ср. 29, A 7,3-18,6, ср. 10,4). Торф різнотипний (верховий, перехідний, низинний). Станом на 1999 р.: площа 106/80/80 (категорії: а, б, в) га, запаси 233 (256, на 2018 р.) тис. т (категорії А+В) (розвідані + оцінені), резервні.

Донні відклади складаються із кварцових пісків (дрібних і середніх), а також каолінових та інших глин, карбонатів і у нижніх прошарках гранітів Українського кристалічного щита.

Згідно з хронологічними даними, зольність торфу збільшується, що вказує на потепління клімату, і як наслідок зафіксовано трансформацію рослинного покриву гелоландшафтів через зміну обводнення, трофного компоненту мортмаси, а також впливу сукцесій.

Проаналізувавши геологічні розрізи (рис. 5), торфовище можна віднести до умовно мілкопокладового із корінними (материнськими) породами флювіо-гляціального генезису в постльодовиковий період із кварцовими пісками, рідше карбонатними породами.

В одній з найглибших ділянок торфовища (рис. 6) показники вологості, зольності, ступеня розкладання торфу доволі варіюють, оскільки відклади багат шарові та з різним ботанічним складом торфу. Загалом це класичне осоково-сфагнове, мезотрофне болото із типовим складом хімічних елементів для Полісся (табл. 2).

Торфове родовище «Ямни» розташоване у північній частині Поліської торфової області та складається з двох відокремлених ділянок. Південна ділянка має видовжену у субширотному напрямі форму, завширшки від 0,6 до 1,5 км, завдовжки — 2,9 км.

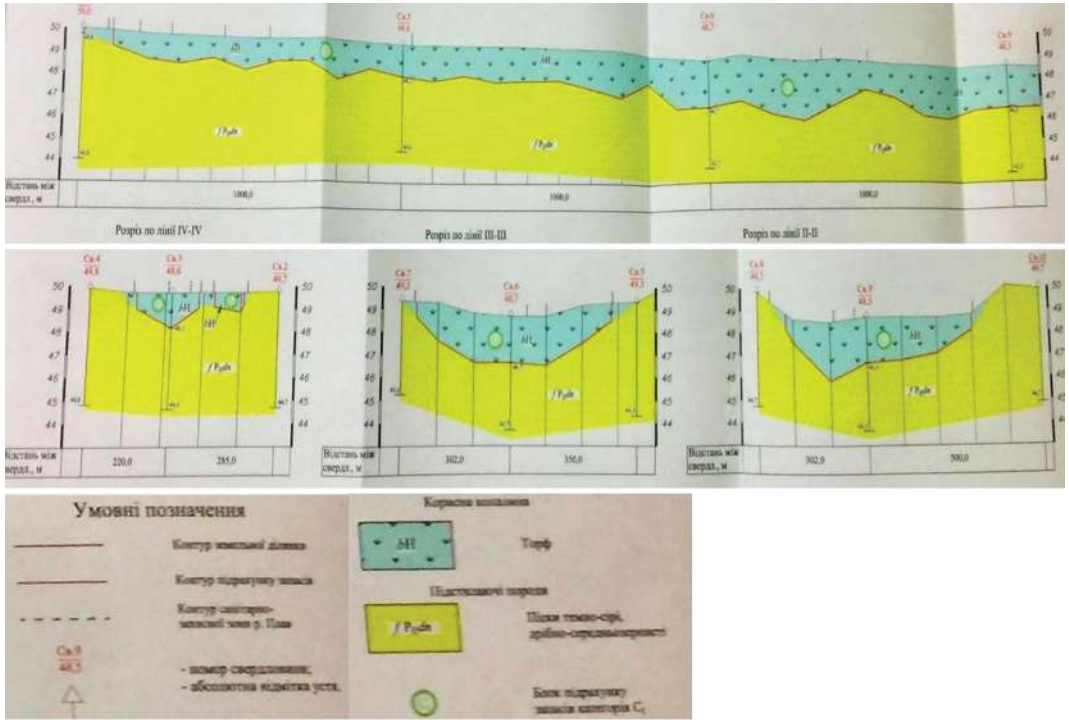


Рис. 5. Геологічний розріз торфовища Плав-II [2]

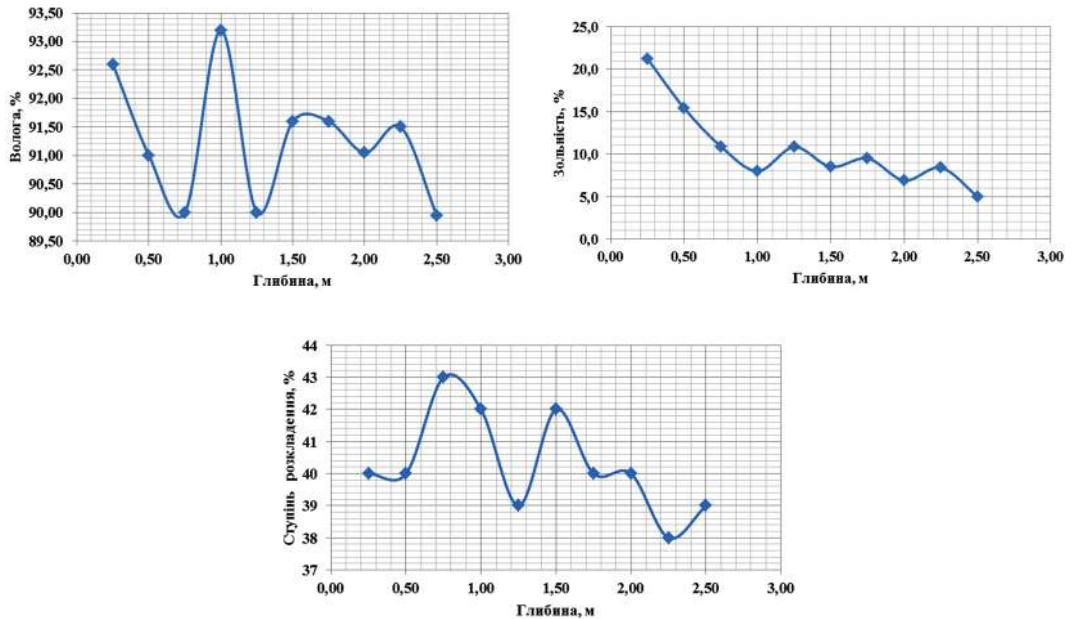


Рис. 6. Показники вологості, зольності, ступеня розкладення торфу

Таблиця 2. Характеристика торфу урочища Плав-II у % на абсолютно суху речовину

| Показники | Мін. | Мах | Середне |
|---------------------------------------|------|-------|---------|
| Алюміній | 1,18 | 4,29 | 1,89 |
| Фосфор | 0,20 | 0,40 | 0,29 |
| Залізо | 0,67 | 2,36 | 1,11 |
| Кальцій | 0,41 | 1,78 | 0,65 |
| Гумінові кислоти | 8,30 | 59,10 | 36,00 |
| Уміст бітумів, екстрагованих бензолів | 1,00 | 7,50 | 3,40 |

Урочище знаходиться у долині (заплаві) річки Рокитна (басейн р. Берга). Територія планованої діяльності (південна ділянка родовища торфу «Ямни») частково знаходиться на території об'єкта Смарагдової мережі України (Emerald) Slovechanskyi Kriazh (UA 0000173) [8].

Природно-територіальні комплекси дуже антропогенно порушені, земельні ділянки фактично повністю осушені, наявні меліоративні канали, мости, дамби. Після осушувальної меліорації землі були частково розорані, наразі відбулися сукцесії (змі-

ни) у напрямі залуження і часткової сільватизації. Луки похідні, посушливі. Серед видів флори відмічені тривіальні, широко розповсюджені рослини: осоки, тимофіївка, лисохвіст, тонконіг, грястиця, щучник, куничник, подорожник, молінія, дзвоники, дзвінець, конюшина, жовтець, мокрець, слабник, деревій, волошка, ситник, перстач, кропива, вероніка, щавель, крупка, молочай, валеріана, цмин тощо. Вздовж доріг, каналів зростають верби, осика, вільха, береза, сосна, крушина, очерет, рогіз, орляк тощо. Специфічним є поширення та на-



Рис. 7. Загальний вигляд урочища Ямни



Рис. 8. Меліоративний канал



Рис. 9. Петрофільні мохи, лишайники

явність осередків адвентивних, інвазійних рослин, зокрема таких як енотера, золотарник канадський, ваточник сирійський та ін. Видів рослин, які занесені до Червоної книги України на території торфовища Ямни, під час експедиційних досліджень нами не було виявлено. У периферійній частині урочища були відмічені рідкісні угруповання рододендрона жовтого (азалії понтійської), а також унікальні комплекси гранітних валунів із оригінальними петрофільними мохами, лишайниками.

Фауністична складова — типова для Українського Полісся, зокрема, лучного та, частково, бореального комплексів. Береги меліоративних каналів і зокрема, прибережна рослинність містять ознаки трофічної діяльності бобра річкового (*Castor fiber*), чисельність якого впродовж останніх десятиліть зростає. Натомість слідів життєдіяльності диких копитних чи зайцеподібних (*Lagomorpha*) на досліджуваній території не виявлено, попри пристойні кормо-захисні умови — наявність злаково-бобових формацій, потужний підріст берези та зарості верболозу. Цей факт опосередковано може свідчити про потужний антропогенний тиск — випас худоби, лісогосподарську діяльність, полювання тощо. Видовий спектр птахів багатий, включає ряд видів горобиних, журавлеподібних (*Gruiformes*), сивкоподібних (*Charadriiformes*), лелеко-

подібних (*Ciconiiformes*), куроподібних (*Galliformes*), гусеподібних (*Anseriformes*), соколоподібних (*Falconiformes*) тощо. З видів, занесених до Червоної книги України зафіксовано сірого сорокопуда (*Lanius excubitor*) та тетерука (*Lyrurus tetrix*). В останньому випадку відмічено квочку з пташенятами. Цей факт свідчить про важливість цього локалітету для розмноження виду, оскільки насиджування та виведення потомства у тетеруків відбувається в осередках їх токування навесні. Крім згаданих видів, відмічений деркач (*Crex crex*) — вид, віднесений до Додатку II Бернської конвенції, ратифікованої Україною.

Територія потребує рекультивації, тобто після видобутку торфу доцільно запланувати відповідні роботи, зокрема гідромеліоративні, фіторе mediaційні. Роботи з видобування торфу варто розпочинати ранньої весни (до 1 квітня), або ж — після 15 липня, уникаючи т. з. «сезону тиші», коли будь-які господарські заходи в лісових масивах (як і на прилеглих ділянках) зведені до мінімуму — з метою запобігання неспокою птахів, що насиджують та турбуються про потомство [9; 10].

ВИСНОВКИ

Видобуток торфу на досліджених територіях не рекомендовано. Основні умови збереження екосистем — це дотримання

природоохоронних норм, чинного законодавства, екологічного моніторингу, застосування біотехнічних заходів відновлення і збереження біорізноманіття. Торфовище (водно-болотне угіддя) Плав-II варто оголосити заказником місцевого значення, оскільки там відмічено види Червоної книги України, а також наявні рідкісні осоково-сфагнові фітоценози. Для території урочища Ямни доцільно обґрунтувати

певні рекультиваційні заходи, зокрема провести часткову ренатуралізацію, запобігти подальшому поширенню інвазійних видів біоти тощо. Надалі варто провести екологічну паспортизацію згідно з розробленими методиками [11], додаткову процедуру не оцінки впливу на довкілля, а стратегічну екологічну оцінку досліджених торфових екосистем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Коніщук В.В., Проневич В.А., Єгорова Т.М., Шумигай І.В. Екологічні основи збалансованого розвитку ландшафтів водно-болотних угідь і торфовищ: моногр. Київ: ДІА, 2015. 190 с.
2. Звіт з оцінки впливу на довкілля видобування торфу родовища Плав-II в адміністративних межах Олевського району Житомирської області. ТОВ «Софія-Біо». Київ, 2018. 294 с.
3. Коніщук В.В., Ходинь О.Б., Христецька М.В. Природоохоронна, фітосозологічна оцінка торфовища ПЛАВ-II (Житомирська обл.). *Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. Част. 2. (м. Київ, 7–8 лип. 2022 р.). Київ, 2022. С. 77–81.
4. Звіт по темі «Аналіз стану мінерально-сировинної бази України, облік родовищ і складна Державних балансів запасів торфу та сапропелю за станом на 1.01.1997, 1998, 1999» в XVI кн., кн. IV, Житомирська обл. / Міністерство екології та природних ресурсів України, Департамент геології і використання надр, Геоінформ. Київ, 2000. 142 с.
5. Дідух Я.П., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Геоботанічне районування України та суміжних територій. *Український ботанічний журнал*. 2003. Т. 60. № 1. С. 6–17.
6. Коніщук В.В. Екологічні основи розвитку та охорони торфових боліт Полісся: автореф. дис. ... д-ра біол. наук: 03.00.16. Київ, 2013. 44 с.
7. Щербак Н.Н. Зоогеографическое деление Украинской ССР. *Вестник зоологии*. 1988. № 3. С. 22–31.
8. The Emerald Network: A Network of Areas of Special Conservation Interest for Europe: Explanatory document and compilation of relevant texts. URL: <https://gm.coe.int/168074669d>
9. Коніщук В.В., Шумигай І.В., Коваль С.І. та ін. Методичні рекомендації оцінки фіто-, зооінвазивності / за ред. В.В. Коніщука. Київ: ДІА, 2017. 36 с.
10. Коніщук В.В., Бобрик І.В., Булгаков В.П. та ін. Охорона і заповідання водно-болотних угідь: метод. реком. Київ: ДІА, 2014. 40 с.
11. Коніщук В.В. Концепція і стратегія збалансованого розвитку ландшафтів водно-болотних угідь і торфових екосистем України. Київ: ДІА, 2015. 52 с.

REFERENCES

1. Konishchuk, V.V., Pronevich, V.A., Yehorova, T.M. & Shumyhai, I.V. (2015). *Ekolohichni osnovy zbalansovanoho rozvytku landshaftiv vodno-bolotnykh uhid' i torfovishch: monohrafiya* [Ecological foundations of balanced development of wetlands and peatland landscapes: monograph]. Kyiv [in Ukrainian].
2. LLC «Sofia-Bio». (2018). *Zvit z otsinky vplyvu na dovkillya vydobuvannya torfu rodovyshcha Plav-II v administratyvnykh mezhakh Olev'skoho rayonu Zhytomyrskoyi oblasti* [Environmental Impact Assessment Report of Peat Extraction of the Plav-II Deposit in the Administrative Boundaries of Olevsky District of Zhytomyr Oblast]. Kyiv [in Ukrainian].
3. Konishchuk, V.V., Khodyn, O.B. & Khristetska, M.V. (2022). *Pryrodookhoronna, fitosozolohichna otsinka torfovishcha PLAV-II (Zhytomyr'ska obl.)* [Environmental protection, phytosozological assessment of PLAV-II peatland (Zhytomyr region)]. *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane pryrodokorystuvannya v ahropromyslovomu vyrobnytstvi: materialy Mizhnarodnoyi naukovy-praktychnoyi konferentsiyi* [Environmental safety and balanced nature management in agro-industrial production: materials of the International scientific and practical conference]. (pp. 77–81). Kyiv [in Ukrainian].
4. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, Department of Geology and Subsoil Use, Geoinform. (2000). *Zvit po temi «Analiz stanu mineralno-syrovynnoyi bazy Ukrayiny, oblik rodovyshch i skladna Drzhavnykh balansiv zapasiv torfu ta sapropelyu za stanom na 1.01.1997, 1998, 1999» v XVI kn., kn. IV, Zhytomyr'ska obl.* [Report on the topic «Analysis of the state of the mineral and raw material base of Ukraine, accounting of deposits and complex State balances of peat and sapropel reserves as of January 1, 1997, 1998, 1999» in the XVI book, book IV, Zhytomyr region]. Kyiv [in Ukrainian].
5. Didukh, Y.P. & Shelyag-Sosonko, Y.R. (2003). Heo-

- botanichne rayonuvannya Ukrayiny ta sumizhnykh terytoriy [Geobotanical zoning of Ukraine and adjacent territories]. *Ukrayins'kyi botanichnyy zhurnal — Ukrainian botanical journal*, 60, 1, 6–17 [in Ukrainian].
6. Konishchuk, V.V. (2013). Ekologichni osnovy rozvytku ta okhorony torfovykh bolit Polissya [Ecological basis of development and protection of peat bogs of Polissia]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
 7. Shcherbak, N.N. (1988). Zoogeograficheskoye deleniye Ukrainy SSR. [Zoogeographic division of the Ukrainian SSR]. *Vestnik zoologii — Bulletin of Zoology*, 3, 22–31 [in Russian].
 8. The Emerald Network: A Network of Areas of Special Conservation Interest for Europe: Explanatory document and compilation of relevant texts. (nd.). URL: <https://rm.coe.int/168074669d> [in English].
 9. Konishchuk, V.V. (Ed.), Shumyhai, I.V., Koval, S.I. et al. (2017). *Metodychni rekomendatsiyi otsinky fito-, zoonivazynosti* [Methodical recommendations for the assessment of phyto- and zoonivazynosti]. Kyiv [in Ukrainian].
 10. Konishchuk, V.V., Bobryk, I.V., Bulgakov, V.P. et al. (2014). *Okhorona i zapovidannya vodno-bolotnykh uhid (metodychni rekomendatsiyi)* [Protection and bequest of wetlands (methodical recommendations)]. Kyiv [in Ukrainian].
 11. Konishchuk, V.V. (2015). *Kontseptsiya i stratehiya zbalansovanoho rozvytku landshaftiv vodno-bolotnykh uhid' i torfovykh ekosystem Ukrayiny* [Concept and strategy of balanced development of landscapes of wetlands and peat ecosystems of Ukraine]. Kyiv [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 29.07.2022

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ АНАЛІЗ ФІТОЦЕНОТИЧНОГО ПОКРИВУ ГІРНИЧО-ПРОМИСЛОВИХ ЛАНДШАФТІВ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ

О.В. Мудрак¹, А.П. Магдійчук²

¹ КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти» (м. Вінниця, Україна)
e-mail: ov_mudrak@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1776-6120

² Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: mahdiichuk@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6719-2148

У запропонованій статті висвітлено особливості формування фітоценотичного покриву в межах кар'єрно-відвальних комплексів гірничо-промислових ландшафтів Правобережного Лісостепу. Визначено, що формування таких антропогенних ландшафтів залежить від загальних природних умов територій, особливостей виробництва та способу видобування корисних копалин. За визначенням Т.О. Работнова, в межах утворених техногенних субстратів виникнення первинної сукцесії можливе за присутності рослинних зачатків у відкладах або за потрапляння ззовні рослинних діаспор, розподілення яких прямо залежить від індивідуальних екологічних умов у межах кар'єрних виїмок. Тому метою нашого дослідження є визначення впливу екологічних умов на формування фітоценотичного покриву гірничо-промислових ландшафтів Правобережного Лісостепу (на прикладі Андрійковецького піщаного кар'єру). Для вивчення тенденцій і темпів змін місцевості було визначено динаміку їх розвитку за допомогою знімків у різні роки існування та створено ландшафтні карти. Андрійковецький піщаний кар'єр входить до відкладів сарматського ярусу — нижнього геологічного ярусу верхнього міоцену неогенового періоду. Для досліджуваної території характерні різкі перепади висот порівняно з оточуючими агроекосистемами суміжних агроландшафтів. Порушення, які були викликані процесами видобування корисних копалин, відзначаються сформованим техногенним акумулятивним рельєфом. У структурі гірничо-промислового ландшафту виділено основні ділянки: горбисте монолітне днище піщаного кар'єру без рослинності; круті (до 80°) піщані «стілки» кар'єру без рослинності; горбисті суглинисто-піщані поверхні, зарослі злаковою рослинністю і різнотрав'я; мікрогорбкувата поверхня піщано-суглинистих відвалів зарослих рудеральною рослинністю; схили піщано-суглинистих відвалів зарослих рудеральною рослинністю, деревами і чагарниками; валоподібні насипи зарослі злаковою рослинністю і чагарниками; мікрогорбкуваті уступи розкритих порід, зарослі різнотравно-злаковою рослинністю та поодинокими деревами; похилі поверхні, зарослі різнотравною рослинністю; понижені ділянки з достатнім зволоженням, зарослі вологолюбною рослинністю; піщано-суглинисті ділянки в межах кар'єру, не зайняті розробками. Проаналізовано зміни рослинності та елементів техногенного ландшафту, які відбулись за період дослідження: виявлено, що для кар'єру характерне поширення сегетально-рудеральної рослинності та процес синантропізації, що може призвести до втрати типового видового різноманіття.

Ключові слова: біогеоценотичний покрив, поширення видів, сукцесія, самовідновлення, видобування корисних копалин, Андрійковецький кар'єр, рекльтивація, Поділля.

ВСТУП

Кар'єрно-відвальні комплекси гірничо-промислових ландшафтів Правобережного Лісостепу представлені найрізноманітнішими формами антропогенного рельєфу, на яких простежуються явища висотної диференціації та різноманіття антропогенних

ландшафтів: урочища кар'єрів, траншеї, канави, насипи, відвали, терикони. Їх формування залежить від загальних природних умов територій, особливостей виробництва та способу видобування корисних копалин (відкритий чи підземний) [1].

Кар'єрні виїмки, сформовані за екстенсивного відкритого видобування корисних

копалин, характеризуються подальшою зміною гірничо-промислових ландшафтів, особливістю яких є низька родючість, що зменшує ймовірність формування на таких ділянках стійкого фітоценотичного покриття [2].

За визначенням Т.О. Работнова, в умовах субстратів, які утворюються після видобування корисних копалин, та які є придатними для нормальної життєдіяльності рослин, виникає первинна сукцесія, за присутності рослинних зачатків у відкладах або за потрапляння ззовні рослинних діаспор (згідно з Клеменсом, «стадія міграції»), видовий розподіл яких повністю залежить від сформованих екоотопічних умов у межах кар'єрних виїмок [3].

Первинні сукцесії за своєю природою є сингенетичними і ендекогенетичними водночас: після припинення експлуатації кар'єрів, на оголеному субстраті відбувається процес піонерного засвоєння рослин, що за класифікацією В.М. Сукачова, визначається як сингенетична автогенна сукцесія. В результаті життєдіяльності рослин змінюються умови середовища, що є етапом ендекогенетичної сукцесії. Середовище змінюється і при сингенезі, але ґрунт при цьому не зазнає незворотних перетворень, а отже значимість цих змін низька [4].

Тому метою нашого дослідження є визначення впливу екоотопічних умов на формування фітоценотичного покриття гірничо-промислових ландшафтів Правобережного Лісостепу (на прикладі Андрійковецького піщаного кар'єру). Об'єкт дослідження — фітоценотичний покрив кар'єрно-відвального комплексу Андрійковецького піщаного кар'єру в межах Правобережного Лісостепу, його просторово-часовий аналіз, динаміка, особливості розвитку.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У кар'єрно-відвальных комплексах формування фітоценотичного покриття залежить від типу кар'єру та ступеня порушень території. Відмінність фізичних і хімічних

властивостей субстратів впливає на перебіг початкових стадій первинної сукцесії та на подальші етапи формування біогеоценотичного покриття, а також процеси ґрунтоутворення [3].

На перших етапах формування гірничо-промислових ландшафтів майже у всіх природних зонах можна виділити три основні етапи сингенетичної сукцесії:

- *перший етап* у середньому триває до шести років і закінчується утворенням мозаїчного фітоценотичного покриття;
- *другий етап* — від п'яти до десяти років і характеризується створенням складних багатовидових фітоценозів із більш чітко вираженим зональним характером флори (зменшується кількість рудеральних однорічних видів рослин);
- *третій етап* розпочинається після десятирічного віку, коли відбувається посилення геологічної диференціації видового складу на фоні жорсткої конкуренції. В еволюційному процесі переважають не зовнішні впливи, а внутрішня біогеоценотична діяльність молодих за віком угруповань [5].

В умовах відносно родючих порід, які виносяться на поверхню при видобуванні корисних копалин, та сприятливих умов клімату, процеси самозаростання проходять інтенсивно, в межах від 10 до 15 років. При цьому поверхня кар'єрно-відвальных комплексів покривається дерном трав, чагарниками і деякими видами дерев. За високого вмісту фітотоксичних порід у відвалах, різко виражених морфометричних параметрів техногенного рельєфу і несприятливого водного режиму характерним є слабкий розвиток рослинності — значні площі впродовж 20 і більше років залишаються повністю без рослинного покриття з активізацією різних видів ерозійних процесів. За повільного самозаростання або його відсутності, необхідне втручання людини для імітації моделі Ф. Іглера чи моделі сприяння [4; 6].

Підтвердженням цього є результати досліджень поширення видів у межах різних за походженням місць видобування корисних копалин. У межах залізорудних

кар'єрів відзначались повільні темпи та неодноразовість заростання відвалів, нерівномірність стадій сукцесії та відсутність загальних закономірностей висотної диференціації рослинності [7; 8]. Трансформації екотопів і формування фітоценозів із зональної флори було виявлено в межах базальтових кар'єрів [9; 10]. У межах сірчаних родовищ, визначено вплив фітоценозу на зміни фізико-механічних властивостей сформованих ґрунтосумішей, які в подальшому впливають на формування складніших за видовим складом рослинних угруповань. У межах вугільних родовищ виділено стадії сукцесії та охарактеризовано стійкі, але різні за екологічною структурою фітоценози, які були сформовані за період понад 50 років, під впливом таких факторів, як властивості сумішей гірських порід та експозиції схилів відвалів [11; 12]. Наразі спостерігаємо як екологічні чинники середовища впливають на видову диференціацію біогеоценотичного покриття кар'єрно-відвальних комплексів, де відбувається поєднання елементів гірського, степового і лісового ландшафту [13]. В той самий час проведений просторово-часовий аналіз фітоценотичного покриття гірничо-промислових ландшафтів не дає можливості визначити чіткі закономірності поширення різних типів рослинності внаслідок розбіжностей впливу різних природних і антропогенних чинників [14]. Тому новим актуальним завданням сьогодення є дослідження динаміки формування фітоценозів кар'єрно-відвальних комплексів гірничо-промислових ландшафтів Правобережного Лісостепу під впливом екотопічних чинників у певному часовому проміжку.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження закономірностей поширення різних видів рослин проводилось з 2019 по 2022 рр. в межах Андрійковецького піщаного кар'єру, який знаходиться біля села Андрійківці Розсошанської сільської територіальної громади в умовах Центрального Поділля. При дослідженні вище згаданого кар'єрно-відвального комп-

лексу застосовувались як загальнонаукові (аналіз, синтез), так і маршрутні методи, порівняння, моніторинг. Для вивчення тенденцій і темпів змін місцевості визначено динаміку їх розвитку за допомогою знімків у різні роки існування. Рельєф в умовах кар'єру досліджувався за допомогою засобів дистанційного зондування землі (аерофотозйомка та аналіз даних із штучних супутників Землі на базі системи Crop monitoring (EOS DataAnalytics) [15]). Матеріали аерокосмічних зйомок надавали інформацію про особливості будови і динаміки гірничо-промислових ландшафтів та використовувались для моніторингу відпрацьованих територій, ефективності проведення етапів рекультиваційних робіт, поширення небезпечних явищ [16]. Створення ландшафтних карт для визначення динаміки зміни рослинності відбувалось за загальноприйнятими методиками [17].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Андрійковецький піщаний кар'єр входить до відкладів сарматського ярусу – нижнього геологічного ярусу верхнього міоцену неогенового періоду. Видобування корисних копалин офіційно було припинено в 2015 р. Загальну динаміку зміни площі девастрованих земель можемо розглянути за результатами аналізу даних системи Cropmonitoring, який відображено на *рис. 1* [18].

Особливості кар'єрно-відвального комплексу Андрійковецького піщаного кар'єру та поширення видів у межах сформованого техногенного рельєфу зображено на *рис. 2*.

Території характерні різкі перепади висот порівняно з навколишніми територіями сільськогосподарських угідь. Найглибша точка розташована у північно-східній частині кар'єру та становить 328 м над рівнем моря, найвища точка — 340 м над рівнем моря.

Порушення, які були викликані процесами видобування корисних копалин, відзначаються сформованим техногенним акумулятивним рельєфом: схилі частини-



Рис. 1. Зміна площі піщаного кар'єру залежно від етапу розробки:

а – кар'єр до початку інтенсивного видобування піску, 1988 р.;
б – кар'єр під час видобування, 2006 р.; *в* – кар'єр станом на 2021 р.

ни (стілки) кар'єру круті, нерівномірні, в північній і західній частині від 70° до 80° , більш пологі в південній – до 40° . Круті схили (стілки) характеризуються повною відсутністю рослинності або появою виду підбіл звичайний (*Tussilago farfara* L.), який є індикатором сингенетичної сукцесії, однак через нестабільність субстрату (процеси зсувів та ерозії) не відбувається перехід до наступної стадії.

У межах кар'єру сформувалось декілька несанкціонованих сміттєзвалищ, що сприяє синантропізації і значному поширенню видів із високою інвазійною здатністю, зокрема золотарника канадського (*Solidago canadensis* L.), злинок однорічної (*Erigeron annuus* L. Pers), клена ясенелистого (*Acer negundo* L.), щиряці зігнутої (*Amaranthus retroflexus* L.) тощо.

Незначна кількість деревних видів та чагарників поширена в західній та південній частині кар'єру, на верхів'ї схилів північної частини, поодинокі особини зафіксовані на мікрогорбкуватих уступах розкритих порід та в центральній частині: це види роду *Salix*, глід колючий (*Crataegus laevigata* Poir DC), алича (*Prunus divaricata* Ledeb), груша звичайна (*Pyrus communis* L.), шипшина собача (*Rosa canina* L.) тощо. Уздовж схилів відвалів визначено місцезнаходження свидини білої (*Swida alba* L.), бузини чорної (*Sambucus nigra* L.).

Східна монолітна частина кар'єру, де велось активне видобування корисних копалин, характеризувалась практичною відсутністю рослинного покриву. На невеликих ділянках, з більш рівною поверхнею, відбулось піонерне заселення таких видів, як підбіл звичайний (*Tussilago farfara* L.), морква дика (*Daucus carota* L.), тонконіг лучний (*Poa pratensis* L.).

Мікрогорбкувата поверхня піщано-суглинистих відвалів характеризується появою таких видів, як полин гіркий (*Artemisia absinthium* L.), щиряця зігнута (*Amaranthus retroflexus* L.), будяк пониклий (*Carduus nutans* L.), грицики звичайні (*Capsella bursa-pastoris* L.), злинка однорічна (*Erigeron annuus* L. Pers), пирій звичайний (*Elymus repens* (L.) Gould), незабудка дрібноцвіта (*Myosotis micrantha* L.) тощо.

Схили піщано-суглинистих відвалів заростають переважно рудеральною рослинністю, зокрема осот звичайний (*Cirsium vulgare* Savi Ten), осот сірий (*Cirsium canum* L.), підбіл звичайний (*Tussilago farfara* L.), скерета дворічна (*Crepis biennis* L.) тощо. На валоподібних насипах переважними є злакові: куничник наземний (*Calamagrostis epigeios* L.), грястиця збірна (*Dactylis glomerata* L.), пирій звичайний (*Elymus repens* (L.) Gould), тонконіг лучний (*Poa pratensis* L.) тощо.

Різнотрав'я мікрогорбкуватих уступів та похилих поверхонь представлено таки-

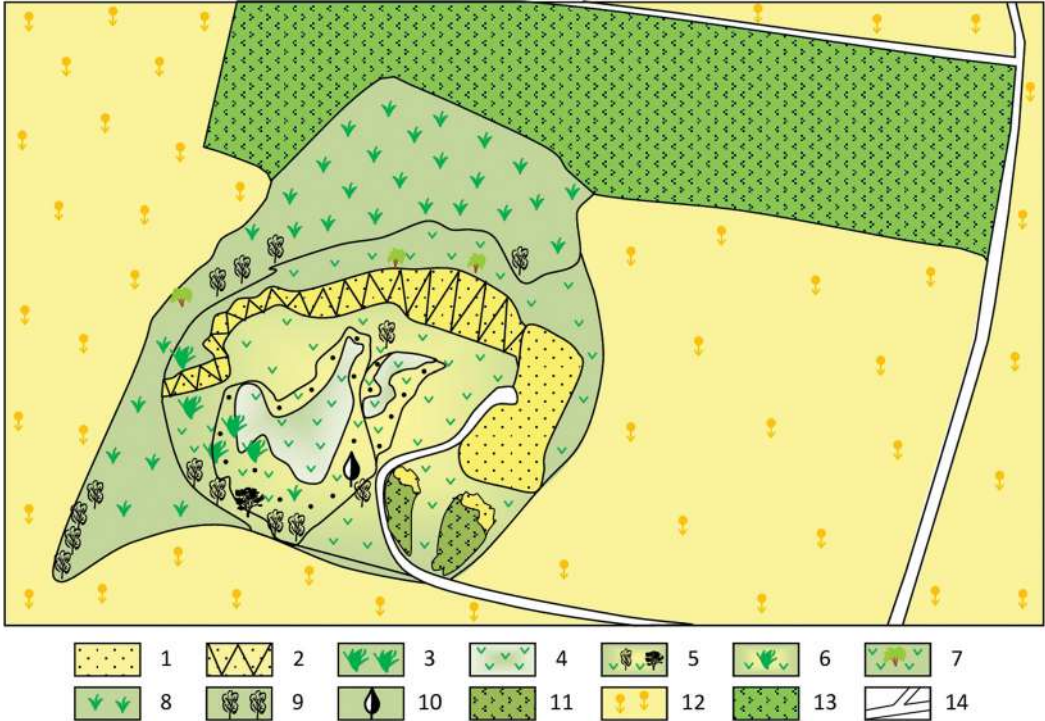


Рис. 2. Ландшафтна карта кар'єрно-відвального комплексу Андрійковецького піщаного кар'єру (2019 р.)

Гірничо-промислові ландшафти. Кар'єрно-відвальні. Урочища. 1. Горbeste монолітне днище піщаного кар'єру без рослинності; 2. Круті (до 80°) піщані «стілки» кар'єру без рослинності; 3. Горbeste суглинисто-піщані поверхні, зарослі злаковою рослинністю і різнотрав'ям; 4. Мікрогорбкувата поверхня піщано-суглинистих відвалів зарослих рудеральною рослинністю; 5. Схили піщано-суглинистих відвалів зарослих рудеральною рослинністю, деревами і чагарниками; 6. Валоподібні насипи зарослі злаковою рослинністю і чагарниками; 7. Мікрогорбкуваті уступи розкривних порід, зарослі різнотравно-злаковою рослинністю та поодинокими деревами; 8. Похилі поверхні, зарослі різнотравною рослинністю; 9. Понижені ділянки з достатнім зволоженням, зарослі вологолюбною рослинністю; 10. Поодинокі дерева в піщаному кар'єрі; 11. Піщано-суглинисті ділянки в межах кар'єру, не зайняті розробками.

Агроландшафти: 12. Рівні розорані поверхні з сірими лісовими ґрунтами, під польовими сівозмінами; 13. Лучно-пасовищні ділянки, зайняті різнотравними злаками.

Дорожні ландшафти: 14. Ґрунтова дорога.

ми видами, як горлянка повзуча (*Ajuga reptans* L.), мак дикий (*Papaver rhoeas* L.), щавель кучерявий (*Rumex crispus* L.), пастернак посівний (*Pastinaca sativa* L.), лобода біла (*Chenopodium album* L.).

На внутрішніх схилах піщано-суглинистих ділянок, не зайнятих розробками, локалізовані осередки таких видів, як ожина сиза (*Rubus caesius* L.), хвощ польовий (*Equisetum arvense* L.).

Особливості ландшафту станом на 2022 р. зображено на *рис. 3*.

Динаміка проведеного моніторингу вище вказаного об'єкта за період трьохрічного спостереження показує, що збільшилась площа фітоценотичного покритву та кількість видів у межах піщаного кар'єру. Також відмічаємо інтенсивний антропогенний вплив у межах непрацюючого кар'єру. Так, станом на 2022 р. збільшилась кіль-



Рис. 3. Ландшафтна карта кар'єрно-відвального комплексу Андрійковецького піщаного кар'єру (2022 р.)

Гірничо-промислові ландшафти. Кар'єрно-відвальні. Урочища. 1. Горбисте монолітне днище піщаного кар'єру без рослинності; 2. Круті (до 80°) піщані «стілки» кар'єру зарослі різнотравною і рудеральною рослинністю; 3. Горбисті суглинисто-піщані поверхні, зарослі злаковою рослинністю і різнотрав'ям; 4. Мікрогорбкувата поверхня піщано-суглинистих відвалів зарослих рудеральною рослинністю; 5. Схили піщано-суглинистих відвалів зарослі різнотравно-злаковою, рудеральною рослинністю, деревами і чагарниками; 6. Валоподібні насипи зарослі злаково-різнотравною рослинністю, кущами та деревами; 7. Мікрогорбкуваті уступи розкритих порід, зарослі різнотравно-злаковою рослинністю та поодинокими деревами; 8. Круті схили кар'єру, зарослі різнотравною рослинністю; 9. Похилі поверхні, зарослі різнотравною рослинністю; 10. Понижені ділянки з достатнім зволоженням, зарослі вологолюбною рослинністю; 11. Поодинокі дерева в піщаному кар'єрі; 12. Піщано-суглинисті ділянки в межах кар'єру, не зайняті розробками.

Агроландшафти: 13. Рівні розорані поверхні з сірими лісовими ґрунтами, під польовими сівозмінами; 14. Лучно-пасовищні ділянки, зайняті різнотравними злаками.

Дорожні ландшафти: 15. ґрунтова дорога.

кість стихійних сміттєзвалищ, де відбувається постійний підпал сміття і на одній із ділянок спричинив загоряння сухою в межах 1/3 частини кар'єру.

Схиліві ділянки характеризуються піонерним засвоєнням рослин, однак деструктивні процеси в їх межах не припиняються, тому важливо провести рекультивацийні заходи в їхніх межах для стабілізації стану

та подальшого формування стійкого фітоценотичного покриву. Індикатором нерівномірних умов місцезростань є розселення виду тополя чорна (*Populus nigra* L.) в усіх частинах кар'єру з фенотиповими відмінностями та уповільненням темпу розвитку.

Площа ділянки з відсутнім та майже відсутнім рослинним покривом зменши-

лась, безпосередньо біля місць видобутку піску, крім характерних піонерних видів, з'явився ряд монокарпічних трав (зокрема триреберник непахучий (*Tripleurospermum inodorum* (L.) W.D.J.Koch), полин звичайний (*Artemisia vulgaris* L.), полин гіркий (*Artemisia absinthium* L.), жовтушник лакфіолевидний (*Erysimum cheiranthoides* L.), люцерна хмелевидна (*Medicago lupulina* L.), буркун білий (*Melilotus albus* Medik), горошок посівний (*Vicia sativa* L.)) та полікарпічних трав (люцерна посівна (*Medicago sativa*), конюшина лучна (*Trifolium pratense* L.), горошок мишачий (*Viciacracca* L.), конюшина повзуча (*Trifolium repens* L.)). Поява представників роду *Fabaceae* забезпечує насичення збіднених субстратів азотом та утримання мінімальної вологи у верхніх шарах, що сприяє подальшим процесам ґрунтоутворення.

Круті схили кар'єру характеризуються появою та заростанням різнотравною рослинністю, зокрема пижмо звичайне (*Tanacetum vulgare* L.), кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* F.H. Wigg., Prim. Fl. Holsat), бедринець ломикаменевий (*Pimpinella saxifraga* L.), незабудка дрібноцвіта (*Myosotis micrantha* L.) тощо. Схили піщано-суглинистих відвалів характеризуються появою клена звичайного (*Acer platanoides* L.).

Валоподібні насипи характеризуються заростанням злакової рослинності та різнотрав'я, кущами та деревами, зокрема верба козяча (*Salix caprea* L.), горобина (*Sorbus aucuparia* L.), яблуня лісова (*Malus sylvestris* (L.) Mill.) та вишня пташина (*Cerasus avium* (L.) Moench), які зокрема зустрічаються і в пониженнях; характерними для цієї частини кар'єру є суниця лісова (*Fragaria vesca* L.), фіалка польова (*Viola arvensis* Murray).

Горбисті суглинисто-піщані поверхні характеризуються появою і заростанням таких нових видів, як жовтець їдкий (*Ranunculus acris* L.), підмаренник запаш-

ний (*Galium odoratum* (L.) Scop.), звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.), цikorій дикий (*Cichorium intybus* L.), суниця лісова (*Fragaria vesca* L.).

Мікрогорбкуваті уступи розкритих порід характеризуються появою таких видів, як синяк Біберштейна (*Echium vulgare* L.), дзвоники розлогі (*Campanula patula* L.), розхідник звичайний (*Glechoma hederacea* L.), свербіжниця польова (*Knautia arvensis* (L.) Coult), підмаренник м'який (*Gallium mollugo* L.), деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.), любочки шорсткі (*Leontodon hispidus* L.), звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.).

Мікрогорбкувата поверхня піщано-суглинистих відвалів характеризується появою видів ожина сиза (*Rubus caesius* L.), космос роздільнолистий (*Cosmos bipinnatus* Cav.) тощо.

ВИСНОВКИ

Після припинення видобування корисних копалин, для стабілізації екологічних умов, необхідно проводити комплекс заходів із технічної і біологічної рекультивациі.

Впродовж досліджуваного періоду виявлено, що для Андрійковецького піщаного кар'єру характерним є сформований техногенний акумулятивний рельєф, у межах якого поширюється значна кількість сегетально-рудеральних видів, а процес синантропізації (аборигенні і адвентивні види складають понад 52% флори) може зумовити до втрати типового видового різноманіття.

Зменшення впливу лімітуючих чинників едафічного середовища забезпечить формування зональної природної флори. Відсутність таких заходів у межах об'єкта дослідження доводить, що диференціація видової структури відбувається саме через вплив антропогенної діяльності та через сформовані екотопічні умови.

ЛІТЕРАТУРА

- Денисюк Г.І., Мудрак Г.В. Унікальні ландшафти Середнього Придністер'я. Вінниця: Вінницька обласна друкарня, 2014. 262 с.
- Мудрак О.В. Збалансований розвиток екомережі Поділля: стан, проблеми, перспективи: моногр. Вінниця: СПД Главацька Р.В., 2012. 914 с.
- Работнов Т.А. Фитоценология. Москва: Издательство МГУ, 1992. 352 с.
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности. Москва: Логос, 2001. 264 с.
- Кучерявий В.П. Фітомеліорація. Львів: Світ, 2003. 540 с.
- Козинська І.П. Структура гірничо-промислових ландшафтів Південного Лісостепу Правобережної України. *Наукові записки Вінницького педуніверситету. Сер.: Географія*. 2011. Вип. 22. С. 15–20.
- Мазур А.Ю., Кучеревський В.В., Шоль Г.Н. та ін. Біотехнологія рекультивациі залізрудних відвалів шляхом створення стійких трав'янистих рослинних угруповань. *Nauka innov*. 2015. 11 (4). С. 41–52.
- Павленко А.О., Красова О.О., Коршиков І.І. Сингенетичні процеси на залізрудних відвалах північної частини Криворіжжя. *Український ботанічний журнал*. 2017. 74 (4). С. 360–372.
- Савчук Л., Володимирець В. Адвентизація видового складу флори під впливом розробки базальтових кар'єрів. *Нотатки сучасної біології*. 2021. (1). С. 3–8.
- Савчук Л.К., Виговський В.І. Раритетні види рослин у флористичному складі базальтових кар'єрів Волинського Полісся. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Сер.: Біологія*. 2019. № 2 (76). С. 8–13.
- Копій М.Л. Вплив сукцесійних процесів на відтворення порушених земель в межах Яворівсько-го сірчаного кар'єру Львівської області. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28 (№ 8). С. 45–50.
- Геник Я.В., Заячук В.Я. Сукцесії рослинності на пост техногенних територіях коломийського буровугільного родовища. *Науковий вісник НЛТУ України. Екологія та довкілля*. 2015. Вип. 25 (6). С. 119–124.
- Чегорка П.Т., Манюк В.В., Сижко В.В., Колесник В.М. Біорізноманіття Рибальського кар'єру та шляхи його збагачення. Моніторинг та охорона біорізноманіття в Україні. *Прикладні аспекти моніторингу та охорони біорізноманіття. Сер.: «Conservation Biology in Ukraine»*. 2020. Вип. 16. Т. 3. С. 473–489.
- Іванов Є., Біланюк В., Тиханович Є. Геоекологічні дослідження гірничо-промислових територій Західного регіону України. *Міждисциплінарні інтеграційні процеси у системі географічної, туризмологічної та екологічної науки*: матеріали II міжнар. наук-практ конф. (м. Тернопіль, 15 жовт. 2020 р.). 2020. С. 203–212.
- EOS Data Analytics: Crop Monitoring. URL: <https://crop-monitoring.eos.com>
- Mudrak O. and Mahdichuk A. Mining and industrial landscapes of Podillya as potential structural elements of the regional ecological network. *Scientific Horizons*. 2022. 25 (4). 88–99. DOI: [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(4\).20622.89-99](https://doi.org/10.48077/scihor.25(4).20622.89-99)
- Гродзинський М.Д. Ландшафтна екологія: підруч. Київ: Знання, 2014. 550 с.
- Мудрак О., Магдійчук А. Антропогенний вплив видобування піску компоненти довкілля в межах Поділля. *«Екологічна безпека — сучасні напрямки та перспективи вищої освіти»*: II Міжнар. інтернет-конференція (м. Харків, 25 лют. 2022 р.). 2022. С. 82–84.

REFERENCES

- Denysyk, H.I. & Mudrak, H.V. (2014). *Unikalni landshafyty Serednoho Prydnisteria [Unique Landscapes of the Middle Transnistria]*. Vinnytsia [in Ukrainian].
- Mudrak, O.V. (2012). *Zbalansovanyy rozvytok ekomerezhii Podillya: stan, problemy, perspektyvy [Balanced development of the Podillya eco-network: state, problems, prospects]*. Vinnytsia [in Ukrainian].
- Rabotnov, T.A. (1992). *Fitotsenologiya [Phytocenology]*. Moskva [in Russian].
- Mirkin, B.M., Naumova, L.G. & Solomeshch, A.I. (2001). *Sovremennaya nauka o rastitelnosti [Modern science of vegetation]*. Moskva [in Russian].
- Kucheryavii, V.P. (2003). *Fitomeliorsia [Phytomelioration]*. Lviv [in Ukrainian].
- Kozynska, I.P. (2011). *Struktura hirnichopromyslovykh landshafytiv pivdennoho lisostepu Pravoberezhnoi Ukrainy [The structure of mining landscapes of the southern forest-steppe of the Right Bank of Ukraine]*. *Naukovi zapysky Vinnytskoho peduniverstetu. Seria: Heohrafiia — Scientific issues of Vinnytsia state M. Kotsyubynskyy Pedagogical University. Geography series*, 22, 15–20 [in Ukrainian].
- Mazur, A.Iu., Kucherevskyy, V.V., Shol, H.N. et al. (2015). *Biotekhnolohiia rekultyvatsii zalizorudnykh vidvaliv shliakhom stvorennia stiikykh travianyntykh roslynnykh uhropovan [Biotechnology of reclamation of iron ore dumps by creating stable herbaceous plant communities]*. *Nauka innov — Nauka innov*, 11 (4), 41–52. DOI: <http://dx.doi.org/10.15407/scin11.04.041> [in Ukrainian].
- Pavlenko, A.O., Krasova, O.O. & Korshykov, I.I. (2017). *Synhenetychni protsesy na zalizorudnykh vidvalakh pivnichnoi chastyny Kryvorizhzhia [Synogenesis processes on iron ore dumps in the northern part of Kryvyi Rih area]*. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal — Ukrainian botanical journal*, 74 (4), 360–372. DOI: 10.15407/ukrbotj74.04.360 [in Ukrainian].

9. Savchuk, L. & Volodymyrets, V. (2021). Adventyza-tsiia vydovoho skladu flory pid vplyvom rozrobky bazaltovykh karieriv [Adventisation species composition of flora of basalt quarries under the influence of exploitation]. *Notatky suchasnoi biologii – Notes in current biology*, (1), 3–8. DOI <https://doi.org/10.29038/NCBio.21.1.3-8> [in Ukrainian].
10. Savchuk, L.K. & Vyhovskiy, V.I. (2019). Rarytetni vydy roslin u florystychnomu skladi bazaltovykh karieriv Volynskoho Polissia [Rare species of plants in the floristic composition of the basalt quarries of Volyn Polissia]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu. Seriya: Biologhiia – The Scientific Issues of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology*, 2 (76), 8–13. DOI: [10.25128/2078-2357.19.2.1](https://doi.org/10.25128/2078-2357.19.2.1) [in Ukrainian].
11. Kopyi, M.L. (2018). Vplyv suksesiiinykh protsesiv na vidtvorennia porushenykh zemel v mezhakh Yavorivskoho sirchanoho karieryu Lvivskoi oblasti [The influence of successional processes of reproduction of disturbed lands within Yavoriv sulphur quarry of Lviv region]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrayiny – Scientific Bulletin of UNFU*, 28 (8), 45–50. DOI: <https://doi.org/10.15421/40280809> [in Ukrainian].
12. Henyk, Ya.V. & Zaiachuk, V.Ia. (2015). Suksesii roslinnosti na post tekhnohennykh terytoriiakh kolomyiskoho burovuhilnoho rodovyscha [Vegetation successions in the post-technogenic territories of the Kolomyia lignite deposit]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrayiny: Ekologhiia ta dozkillia – Scientific bulletin of UNFU: Ecology and environment*, 25 (6), 119–124 [in Ukrainian].
13. Chehorka, P.T., Maniuk, V.V., Syzhko, V.V. & Kolesnyk, V.M. (2020). Bioriznomanittia Rybalskoho karieryu ta shliakhy yoho zbahachennia [Biodiversity of the Rybalskiy Quarry and ways to enrich it.]. *Monitorynh ta okhorona bioriznomanittia v Ukraini. Prykladni aspekty monitorynhu ta okhorony bioriznomanittia – Monitoring and protection of biodiversity in Ukraine. Applied aspects of biodiversity monitoring and protection. Series: Conservation Biology in Ukraine*, 16 (3), 473–489 [in Ukrainian].
14. Ivanov, Ye., Bilaniuk, V. & Tykhanovych, Ye. (2020). Heoekologichni doslidzhennia hirnychopromyslovykh terytorii Zakhidnoho rehionu Ukrainy [Geological studies of mining areas of the Western region of Ukraine]. *Mizhdystyuplinami intehratsiini protsesy u systemi heohrafichnoi, turyzmolohichnoi ta ekolohichnoi nauky: materialy II-oi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Interdisciplinary integration processes in the system of geographic, tourism and environmental science: materials of the 2nd international scientific and practical conference]*. (pp. 203–212). Ternopil [in Ukrainian].
15. EOS Data Analytics: Crop Monitoring. URL: <https://crop-monitoring.eos.com> [in English/Ukrainian].
16. Mudrak, O. & Mahdiichuk, A. (2022). Mining and industrial landscapes of Podillya as potential structural elements of the regional ecological network. *Scientific Horizons*, 25 (4), 88–99. DOI: [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(4\).20622.89-99](https://doi.org/10.48077/scihor.25(4).20622.89-99) [in English].
17. Hrodzynskiy, M.D. (2014). *Landshaftna ekolohiia: pidruchnyk [Landscape ecology: textbook]*. Kyiv [in Ukrainian].
18. Mudrak, O.V. & Mahdiichuk, A.P. (2022). Antropohennyi vplyv vydobuvannia pisku na komponenty dozkillia v mezhakh Podillia [Anthropogenic impact of sand mining on environmental components within Podillia]. *Ekolohichna bezpeka – suchasni napriamky ta perspektyvy vyshchoi osvity: II Mizhnarodna internet-konferentsiia [Environmental Safety – Advanced Directions and Ways for Higher Education Development: II International Internet Conference]*. (pp. 82–84). Kharkiv [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 26.07.2022

ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТАНОВОГО ЗБРОДЖУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВІДХОДІВ

В.М. Говоруха, О.А. Гаврилук, І.О. Біда, Г.В. Гладка, О.Б. Таширев

*Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного
Національної академії наук України (м. Київ, Україна)
e-mail: vira-govorukha@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4265-5534
e-mail: gav_olesya@ukr.net; ORCID: 0000-0003-2815-3976
e-mail: irabida19@gmail.com; ORCID: 0000-0002-7044-3339
e-mail: gladkagv@ukr.net; ORCID: 0000-0003-3855-1847
e-mail: tach2007@ukr.net; ORCID: 0000-0002-7698-5155*

Накопичення екологічно небезпечних сільськогосподарських відходів, зокрема коров'ячого гною, що не піддаються належній утилізації, створює екологічну загрозу для довкілля. Під час енергетичної кризи пошук альтернативних шляхів отримання енергії також є одним з найбільш нагальних завдань сьогодення. Коров'ячий гній є перспективним як субстрат для анаеробного збродження з отриманням цінного енергоносія — метану. Однак низька ефективність процесу спонукає до дослідження його закономірностей та оптимізації. Метою роботи була розробка підходу метанового збродження коров'ячого гною за використання конверсійної сукцесії для його ефективної утилізації з отриманням цінного енергоносія. Було використано такі методи: потенціометричне вимірювання рН і Eh, хроматографічне визначення складу газової фази. Для дослідження закономірностей метанового збродження коров'ячого гною було проаналізовано такі варіанти: 1. Збродження гною автохтонним мікробіомом без регуляції рН середовища; 2. Ферментація гною за додавання як інокуляту збродженого осаду метантенку без регуляції рН; 3. За додавання збродженого осаду метантенку та з регуляцією рН. В результаті показано, що збродження гною автохтонним мікробіомом є неефективним, а вихід метану становить лише 20 л/кг субстрату, що може бути пов'язано із інгібуванням мікробіому кінцевими продуктами. Конверсійна сукцесія, тобто заміна автохтонного мікробіому, за рахунок внесення біомаси збродженого осаду метантенку забезпечила підвищення виходу метану до 230 л/кг субстрату. Регуляція рН середовища як одного із ключових факторів, що впливають на ріст мікроорганізмів та ефективність процесу загалом, збільшила вихід метану до 280 л/кг субстрату. Отже, зміна мікробіому та регуляція рН дали змогу підвищити ефективність метанового збродження коров'ячого гною у 14 разів. Такий підхід є перспективним для ефективної деструкції коров'ячого гною з отриманням цінного енергоносія — метану. Отримані результати можуть бути основою для подальшого розвитку природоохоронних та енергетичних мікробних біотехнологій.

Ключові слова: енергоносії, мікробна біотехнологія, збереження довкілля, коров'ячий гній, альтернативна енергетика.

ВСТУП

Вичерпання запасів викопного палива та криза його застосування, накопичення величезних об'ємів органічних відходів, що потребують утилізації, розробка нової економічної концепції для зменшення викиду в атмосферу парникових газів та сталого розвитку спонукали до пошуку альтернативних шляхів отримання енергії [1–4].

Анаеробне збродження є широко розповсюдженим процесом, що дає можливість отримувати цінний енергоносієй – метан із екологічно небезпечних органічних сполук. Перевагою застосування анаеробного збродження у промисловості є його гнучкість, тобто можливість застосування як субстрату широкого спектра органічних сполук муніципальні та промислові органічні відходи, рослинні рештки, сільськогосподарські відходи, зокрема гній худоби [5; 6].

Його застосування у промислових масштабах дає змогу не тільки отримувати метан як альтернативне паливо, але і утилізувати органічні відходи, очищуючи довкілля та зменшуючи викиди парникових газів [7].

Сільське господарство продукує великі об'єми органічних відходів, що потребують належної утилізації. Одним із основних відходів є гній худоби, зокрема коров'ячий. Його накопичення на сільськогосподарських підприємствах спонукає до пошуку шляхів утилізації. Серед них одним із найперспективніших є метанове збродження коров'ячого гною. Його разом з іншими сільськогосподарськими відходами широко застосовують у метантенках. Показано, що вихід метану за збродження сільськогосподарських відходів може сильно варіювати від 0,013 до 0,331 м³/кг субстрату, що залежить від складу субстрату та умов збродження [7–9].

Не зважаючи на широке застосування коров'ячого гною як субстрату для отримання метану, тривалість процесу залишається довгою та низько ефективною. Це знижує ефективність процесу та робить промислові технології нерентабельними [9; 10]. Підбір умов збродження та ефективного мікробного угруповання дасть можливість збільшити вихід метану та зменшити тривалість процесу, створюючи перспективи високоефективного промислового застосування, прискорення розвитку альтернативної енергетики та зменшення залежності від викопного палива.

Таким чином, **метою роботи** була розробка підходу метанового збродження коров'ячого гною за використання конверсійної сукцесії для його ефективної утилізації з отриманням цінного енергоносія.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Анаеробна деструкція органічних відходів є добре відомим і поширеним процесом у промисловості для отримання біометану. Її активно застосовують для утилізації відходів харчової промисловості, органічної фракції муніципальних відходів, сільсько-

господарських відходів. Перевагами цього процесу є можливість багатократно зменшувати об'єм відходів та попереджувати забруднення довкілля, отримувати добрива та біометан. Так, у 2017 р. було отримано 1,94 млрд м³ біогазу, що було результатом збродження близько 5 % органічних відходів, накопичених в Європі [7; 10; 11].

Із розвитком суспільства, зростанням чисельності населення кількість тварин на сільськогосподарських підприємствах і фермах постійно зростає, і, відповідно, зростає кількість гною [12]. Так, у Великій Британії щороку вирощується близько 10 млн гол. великої рогатої худоби, у США — 94 млн, в Індії — 186 млн, Бразилії — 218 млн. У результаті цього продукується мільйони тонн коров'ячого гною. Наприклад, у США продукується близько 24 млн т гною на рік (у перерахунку на суху масу) [13]. Накопичення гною призводить до загострення таких проблем, як неконтрольовані викиди парникових газів, розвиток патогенних мікроорганізмів, забруднення поверхневих та ґрунтових вод тощо.

Домінуючим відходом у сільському господарстві є коров'ячий гній, що містить широкий спектр субстратів як вуглеводородних, так і білкових, а також уже сформоване метаногенне мікробне угруповання. Не зважаючи на це, показано, що збродження лише гною призводить до отримання меншого виходу метану. Це пов'язують із наявністю у складі важкозброджуваних сполук, зокрема лігнінових комплексів [12; 14]. Співвідношення у гної С/Н (5–8) є нижче, ніж це необхідно для стабільного анаеробного збродження (15–30). Також високу концентрацію вільного токсичного аміаку та наявність інших потенційних інгібіторів метаногенезу розглядають як фактори, що знижують ефективність збродження гною. Крім того, ефективність процесу сильно залежить від умов, зокрема температури, рН, редокс-потенціалу, співвідношення С/Н, мікробіому, мікроелементів, типу реакторів та ін. [12; 15; 16].

Показано, що за збродження коров'ячого гною вихід метану є низьким та

становить лише 23–26 л/кг субстрату [17]. Тому у більшості досліджень для підвищення ефективності зброджування коров'ячого гною та збільшення виходу метану застосовують додаткові субстрати (кукурудзяний силос, солома пшениці, харчові відходи тощо) для підвищення виходу метану [18]. Так, показано, що за зброджування гною із додаванням біомаси розторопші (*Silybum marianum*) вихід метану становив 271 л/кг субстрату. За додавання соломи пшениці вихід метану зростав на 33% до 263 л/кг субстрату [13]. За використання у якості ко-субстрату відходів промислової переробки оливки, вихід метану становив 179 л CH_4 /кг субстрату. За термофільного зброджування коров'ячого гною з гліцерином, що був отриманий при виробництві біодизелю, вихід метану становив 348 л CH_4 /кг субстрату [19; 20].

Велику роль у ефективності метаногенезу відіграє мікробне угруповання [21]. Низький вихід метану за зброджування власне коров'ячого гною може бути пов'язаним із низькою продуктивністю використуваного мікробіому. У такому разі підвищення виходу метану може бути досягнуто за допомогою підбору високоефективного мікробіому, оптимізації та регуляції бродіння.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення досліджень метанового зброджування коров'ячого гною використовували зразок гною, що було відібрано у с. Сестринівка (Вінницька обл., Україна).

Зброджування проводили у флаконах об'ємом 250 мл. У флакони додавали по 15 г вологого коров'ячого гною, 130 мл водопровідної води та у двох варіантах 5 г інокуляту — збродженого осаду метантенку (ЗОМ). Флакони герметично закривали гумовими пробками і металічними фіксаторами. В першому варіанті експерименту проводили зброджування коров'ячого гною за участю автохтонного мікробіому без регуляції рН, у другому — за додавання ЗОМ і без регуляції рН, у третьому — за додавання ЗОМ та регуляції рН. Значення

рН регулювали за допомогою титрування насиченим розчином NaHCO_3 . Культивування проводили за температури 37°C .

Для визначення ефективності процесу контролювали такі параметри: рН, редокс-потенціал (Eh), об'єм газу та склад газової фази.

Потенціометричне вимірювання показників рН і Eh проводили за допомогою іоніметра універсального EZODO MP-103 з виносними електродами і термодатчиком. Для вимірювання рН та Eh використовували комбіновані керамічні хлорсрібні електроди Ezodo з BNC роз'ємами — моделі PY41 та PO50 відповідно.

Об'єм синтезованого газу вимірювали після визначення складу газової фази. Для визначення об'єму газу використовували водоналивний герметичний газгольдер, обладнаний трубками та металічними голками для видалення газу. Після кожного вимірювання газгольдер повністю заповнювали водою задля коректного визначення складу газової фази.

Склад газової фази визначали за стандартною методикою на газовому хроматографі ЛХМ-8-МД. Використовували дві сталеві колонки — перша (I) для аналізу H_2 , O_2 , N_2 і CH_4 , друга (II) — для аналізу CO_2 . Параметри колонок: I — $l = 3$ м, $d = 3$ мм, сорбент 13X (NaX); II — $l = 2$ м, $d = 3$ мм, сорбент Porapak-Q; температура колонок, випарника і детектора (катарометра) $+50^\circ\text{C}$, струм детектора — 50 мА. Газ-носії — аргон; швидкість потоку газу — 30 мл/хв. Вміст газів (%) розраховували за стандартною методикою за площею піків компонентів газової фази [22].

Ефективність зброджування визначали за:

1) тривалістю зброджування субстрату (Т);

2) виходом метану, що визначався як кількість літрів метану, синтезованого з 1 кг абсолютно сухої маси гною.

Критеріями завершення процесу слугували: стабілізація параметрів рН та редокс-потенціалу, припинення газоутворення, зменшення концентрації CH_4 в газовій суміші.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Коров'ячий гній є одним із найпоширеніших відходів сільського господарства. Хоча його широко застосовують як добриво для збільшення родючості ґрунтів чи як субстрат для метантенків, проблема його ефективної утилізації досі залишається не вирішеною.

Наш підхід для прискорення та збільшення ефективності метанового збродження коров'ячого гною базується на принципі конверсійної сукцесії. За нашим визначенням, конверсійна сукцесія є заміною автохтонного мікробіому коров'ячого гною на інший. Під час перетравлювання целюлози у шлунково-кишковому каналі корови відбувається закономірне інгібування автохтонного мікробіому екзометаболітами. Тому подальше метаногенне збродження органічних сполук гною є дуже повільним процесом. За внесення «нового» мікробіому (напр., ЗОМ), концентровані органічні сполуки гною, які є інгібіторами для автохтонного мікробіому, слугують стартовим субстратом для мікробіому ЗОМ. Саме завдяки цьому очікується істотна активізація подальшого метаногенного збродження гною. Тому нами було порівняно ефективність деструкції субстрату та синтезу метану автохтонним

мікробіомом, а також мікробними угрупованнями зброженого осаду метантенку.

Ми припустили, що низька ефективність збродження коров'ячого гною автохтонним мікробіомом шлунково-кишкового каналу корів пов'язана із його стагнацією та вичерпанням сполук, що могли б слугувати субстратом для мікроорганізмів. Так, показано, що за відсутності регуляції процесу збродження коров'ячого гною автохтонним мікробіомом є неефективним, а вихід метану — низьким (рис. 1).

Значення показників рН та редокс-потенціалу середовища є визначальними для характеристики ефективности бродіння. Вони дають можливість визначити динаміку процесу та прогнозувати його ефективність. Об'єм синтезованого газу та склад газової фази свідчить про ефективність процесу метаногенезу за збродження.

Вичерпання кисню від 21% до нуля відбувалося впродовж 4 діб. Це свідчило про окиснення органічних сполук субстрату. Крім того, зниження значень рН з 5,8 по 4,8 також вказувало на деструкцію субстрату та накопичення продуктів, органічних кислот. Разом із тим редокс-потенціал середовища знизився у незначному ступені, лише від +280 до +50 мВ. Закислення середовища пояснюється гідролізом целюлози, що присутня у коров'ячому гної, до глюкози та

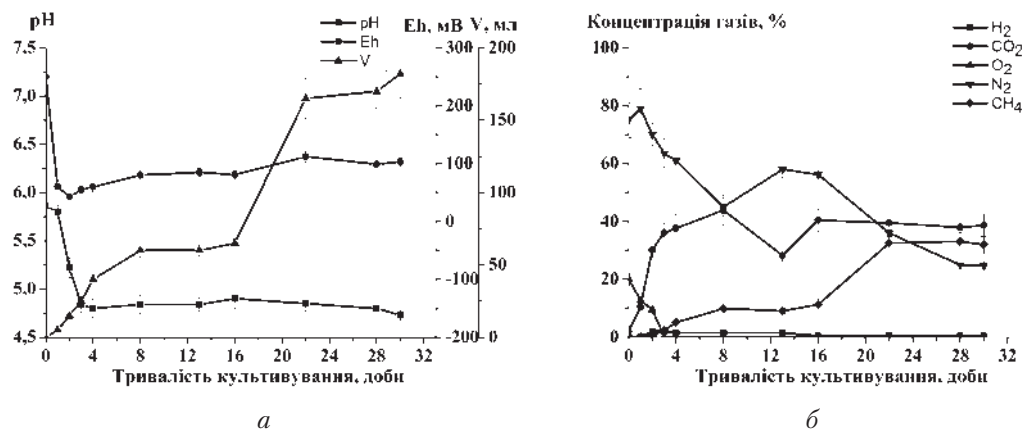
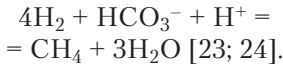


Рис. 1. Динаміка метаболічних параметрів за збродження коров'ячого гною автохтонним мікробіомом:

а — рН, Eh та об'єм синтезованого газу; б — концентрація O₂, CH₄, H₂, CO₂, N₂

у подальшому — до органічних кислот, H_2 і CO_2 . Відсутність молекулярного водню у газовій фазі може свідчити про збалансованість метаболічних шляхів первинних та вторинних анаеробів, у результаті чого молекулярний водень не накопичувався, а залучався до синтезу метану відповідно до реакції:



Однак умови для синтезу метану були неоптимальними. Для ефективного синтезу метану значення рН мають знаходитися в межах 6,8–7,6, а редокс-потенціалу — $-200...-300$ мВ [23; 24]. Відповідно, визначені параметри (рН = 4,8; Eh = +50 мВ) не забезпечували ефективної деструкції субстрату та синтезу метану.

Це підтверджується також співвідношенням газів. Так, уже з другої доби культивування спостерігалось збільшення об'єму газу. Однак CO_2 був домінуючим компонентом газової фази. Це свідчило про початок деструкції органічних полімерів мікроорганізмами. Синтез метану починався через 4 доби від початку зброджування, проте до 16-ї доби його вміст був незначним і становив лише близько 10%. За цей період сумарний об'єм синтезованого газу також був невеликим і сягав 25 мл.

Упродовж наступних двох тижнів спостерігалось різке підвищення синтезу газу — як його загального об'єму, так і вмісту метану. Так, з 16 по 30 добу об'єм газу збільшився від 25 до 75 мл, а вміст метану від 10 до 35%. Це може бути пов'язано із адаптацією метаногенних мікроорганізмів до несприятливих умов рН і Eh. Опосередкованим доказом цього є активний синтез CO_2 у перші 13 діб. Так, на 3-тю добу концентрація CO_2 становила 30%, на 8-му добу — 42, а на 13-ту — 30%.

Після 30 діб зброджування відбувалося завершення процесу, про що свідчила відсутність змін метаболічних параметрів та зниження концентрації метану у газовій фазі.

У результаті дослідження зброджування коров'ячого гною автохтонним мікробіомом показано низьку ефективність процесу. Так, вихід CH_4 становив лише 20 л/кг. Тому надалі було досліджено вплив додавання ЗОМ як інокуляту для метанового зброджування коров'ячого гною.

Внесення додаткового інокуляту (ЗОМ) дало змогу істотно підвищити ефективність процесу (рис. 2).

Підвищення ефективності проявлялося у тому, що концентрація кисню знизилась від 21% до нуля впродовж першої доби культивування. Редокс-потенціал середо-

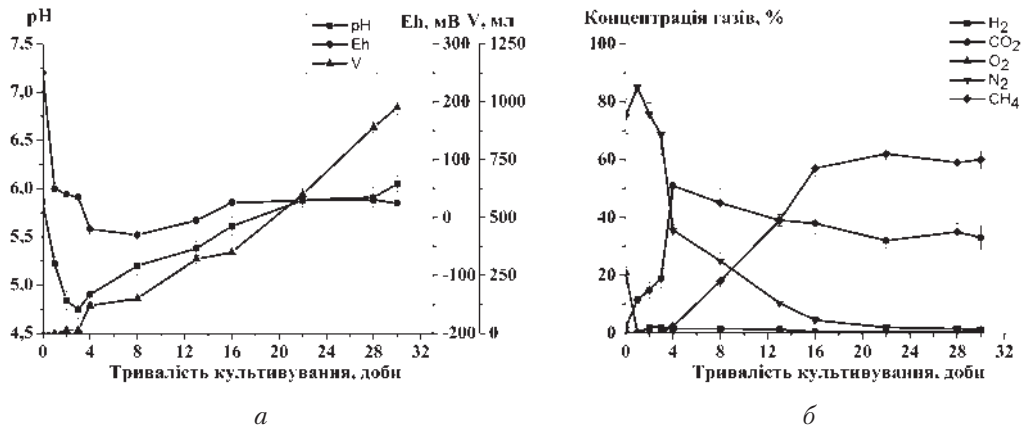


Рис. 2. Динаміка метаболічних параметрів за зброджування коров'ячого гною із додавання збродженого осаду метантенку як інокуляту: а — рН, Eh та об'єм синтезованого газу; б — концентрація O_2 , CH_4 , H_2 , CO_2 , N_2

вища знизився до від'ємних значень ($E_h = -50...-70$ мВ) упродовж 4 діб.

Значення рН уже через 3 доби знизились від 5,8 до 4,7, що пояснюється більш активним гідролізом полімерних сполук субстрату та накопиченням типових продуктів гідролізу — органічних кислот. Однак, незважаючи на неоптимальні значення рН та редокс-потенціалу середовища, синтез метану починався через 4 доби культивування. Через 16 діб концентрація метану становила 60% (що на 50% вище, ніж у попередньому варіанті досліду). Максимальна концентрація метану спостерігалась на 23-тю добу і становила 63%.

Інтегральним показником метаболічної активності хемоорганотрофних мікроорганізмів слугує концентрація CO_2 у газовій фазі. Цей показник є інтегральним, тому що за будь-якого типу хемоорганотрофного метаболізму кінцевим продуктом деградації органічних сполук є вуглекислий газ. Саме тому очевидно, що чим більший вміст CO_2 у газовій фазі, тим більшою є інтегральна активність мікробного угруповання. У присутності ЗОМ вже на 4 добу ферментації концентрація CO_2 була у 4 рази вища, ніж без нього (40 та 10%, відповідно).

Відмітною ознакою деградації органічних сполук метаногенними угрупованнями

є перетворення органічних сполук до газоподібних метаболітів. Очевидно, що чим більший загальний об'єм синтезованого газу, тим більш ефективною є деградація органічних сполук. Угрупування ЗОМ у цьому варіанті досліду відіграло роль біокатализатора, тому що внесення незначної кількості ЗОМ призвело до збільшення об'єму синтезованого газу впродовж всієї ферментації більше, ніж у 5 разів — від 180 мл до 1000 мл. Розширення біорізноманіття мікробного угруповання за рахунок внесення біомаси ЗОМ призвело до збільшення виходу метану більше, ніж у 10 разів — від 20 л до 230 л CH_4 /кг АСМ субстрату

Таким чином, внесення ЗОМ до досліджуваного субстрату призвело до істотного підвищення активності та ефективності синтезу метану. Однак за відсутності регуляції мікробного метаболізму спостерігалось сильне закислення середовища та неминуче пригнічення метаногенезу. У такому випадку умови метаногенезу є неоптимальними. Тому для підвищення ефективності метаногенезу було проведено збродження коров'ячого гною з додаванням ЗОМ як інокуляту та регуляцією рН.

У результаті досягнуто істотне підвищення виходу метану (рис. 3).

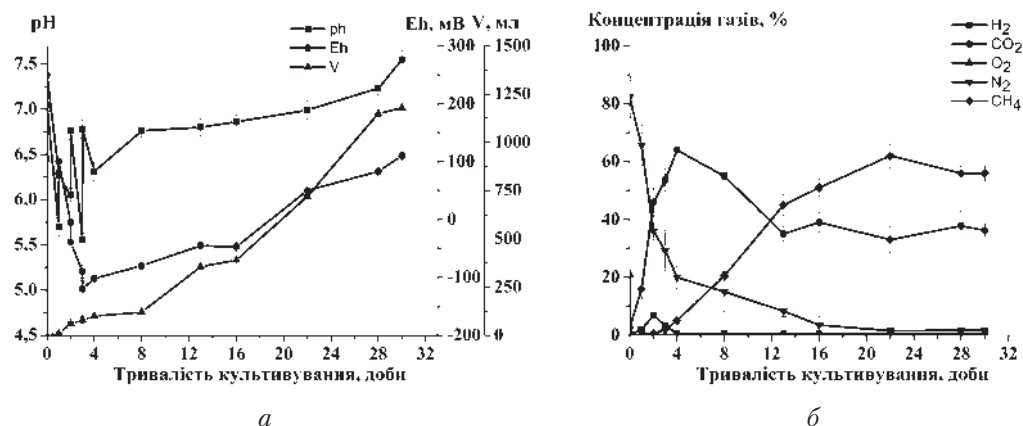


Рис. 3. Динаміка метаболічних параметрів за збродження коров'ячого гною із додавання зброженого осаду метантенку як інокуляту та регуляцією рН:
а — рН, E_h та об'єм синтезованого газу; б — концентрація O_2 , CH_4 , H_2 , CO_2 , N_2

Для забезпечення оптимальних умов росту метаногенних мікроорганізмів перед внесенням ЗОМ вихідні значення рН встановлювали на рівні 7,0 шляхом додавання NaHCO_3 . Такі вихідні умови забезпечили швидкий ріст мікроорганізмів. Про це свідчило зниження концентрації O_2 до нуля впродовж 12 год культивування та значень редокс-потенціалу від +250 до -110 мВ впродовж трьох діб.

Метаболічна активність мікроорганізмів була такою високою, що впродовж 12 год зброджування рН знизився від 7,0 до 5,6. Упродовж наступних 4 діб у середовище двічі вносили NaHCO_3 , що дало можливість нейтралізувати середовище (підтримувати рН на рівні 6,8). Однак, незважаючи на внесення NaHCO_3 , відбувалося швидке закислення середовища. Так, після внесення соди на 2 добу культивування показник рН підвищився з 6,0 до 6,8. Однак у наступні 12 год рН знову знизився до кислих значень (рН = 5,5). Додаткове внесення регуляторів дало змогу підвищити рН до майже нейтральних значень 6,8. У подальшому рН стабілізувався у діапазоні нейтральних значення (рН = 6,8–7,2).

Отримані дані свідчать про те, що за рахунок швидкого гідролізу вуглеводородних полімерів (целюлоза та ін.) відбувається сильне закислення середовища. Таке закислення неминуче призводить до пригнічення зброджування загалом та, зокрема, синтезу метану. Регуляція метаболізму (коригування рН) у перші 4 доби ферментації дає можливість у подальшому досягти нейтральних умов впродовж усього процесу та досягти високого виходу метану.

Високий вміст CO_2 на 4 добу зброджування (68%) також свідчив про високу за-

гальну біохімічну активність мікроорганізмів. Додатковим свідченням підвищення ефективності процесу є збільшення загального об'єму газу від 1000 до 1200 мл у другому варіанті досліду до 1200 мл у третьому. В результаті за таких умов вихід метану становив 280 л/кг субстрату.

Таким чином, проведено дослідження впливу інокуляту та регуляції параметрів середовища культивування для підвищення ефективності метанового зброджування коров'ячого гною. Показано, що автохтонний мікробіом не забезпечує ефективного зброджування та метаногенезу. Конверсійна успішність за рахунок внесення біомаси ЗОМ як інокуляту зумовила до підвищення виходу метану від 20 л до 230 л/кг субстрату, а регуляція рН середовища дала можливість збільшити вихід метану до 280 л/кг субстрату. Таким чином, показано, що збільшення мікробного біорізноманіття за рахунок внесення біомаси ЗОМ та регуляція рН дали змогу підвищити вихід метану у 14 разів порівняно із вихідним варіантом.

ВИСНОВКИ

Для збільшення ефективності деструкції коров'ячого гною та збільшення ефективності синтезу метану розроблено підхід, що полягає у конверсійній успішності мікробіомів, що передбачає додавання зброженого осаду метантенку для активізації процесу. В результаті зміни мікробіому та регуляції рН досягнуто підвищення виходу метану у 14 разів від 20 до 280 л/кг субстрату. Розроблений підхід є перспективним для ефективної деструкції коров'ячого гною як одного із найпоширеніших типів сільськогосподарських відходів з отриманням цінного енергоносія — метану.

ЛІТЕРАТУРА

1. Höök M. and Tang X. Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change — A review. *Energy Policy*. 2013. Vol. 52. P. 797–809. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.046>.
2. Martins F., Felgueiras C., Smitkova M. and Caetano N. Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impacts in European Countries. *Energies*. 2019. Vol. 12 (6). P. 964–975. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12060964>.
3. Tian H., Li J., Yan M. et al. Organic waste to biohydrogen: A critical review from technological development and environmental impact analysis perspective. *Applied Energy*. 2019. Vol. 256. P. 113961–113990. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113961>.
4. Lamb W.F., Wiedmann T., Pongratz J. et al. A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental Research*

- Letters*. 2021. Vol. 16 (7). P. 073005–073037. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abee4e>.
5. Risberg K., Cederlund H., Pell M. et al. Comparative characterization of digestate versus pig slurry and cow manure – Chemical composition and effects on soil microbial activity. *Waste Management*. 2017. Vol. 61. P. 529–538. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.016>.
 6. Appels L., Lauwers J., Degève J. et al. Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15 (9). P. 4295–4301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.121>.
 7. Rocamora I., Wagland S. T., Villa R. et al. Dry anaerobic digestion of organic waste: A review of operational parameters and their impact on process performance. *Bioresource Technology*. 2020. Vol. 299. P. 122681–112692. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122681>.
 8. Duque-Acevedo M., Belmonte-Ureña L.J., Cortés-García F.J. and Camacho-Ferre F. Agricultural waste: Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses. *Global Ecology and Conservation*. 2020. Vol. 22. P. 00902–00925. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00902>.
 9. Li Y., Zhao J., Krooneman J. and Euverink G.J.W. Strategies to boost anaerobic digestion performance of cow manure: Laboratory achievements and their full-scale application potential. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 755. P. 142940–142965. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142940>.
 10. Weiland P. Biomass Digestion in Agriculture: A Successful Pathway for the Energy Production and Waste Treatment in Germany. *Engineering in Life Sciences*. 2006. Vol. 6 (3). P. 302–309. DOI: <https://doi.org/10.1002/elsc.200620128>.
 11. Kim J., Baek G., Kim J. and Lee C. Energy production from different organic wastes by anaerobic co-digestion: Maximizing methane yield versus maximizing synergistic effect. *Renewable Energy*. 2019. Vol. 136. P. 683–690. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.046>.
 12. Tufaner F. and Avşar Y. Effects of co-substrate on biogas production from cattle manure: A review. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2016. Vol. 13 (9). P. 2303–2312. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1069-1>.
 13. Font-Palma C. Methods for the Treatment of Cattle Manure – A Review. *Journal of Carbon Research*. 2019. Vol. 5 (2). P. 27–47. DOI: <https://doi.org/10.3390/c5020027>.
 14. Esteves E.M.M., Herrera A.M.N., Esteves V.P.P. and Morgado C. do R.V. Life cycle assessment of manure biogas production: A review. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 219. P. 411–423.
 15. Baek G., Kim D., Kim J. et al. Treatment of Cattle Manure by Anaerobic Co-Digestion with Food Waste and Pig Manure: Methane Yield and Synergistic Effect. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17 (13). P. 4737–4750. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17134737>.
 16. Jafari-Sejathrood A., Najafi B., Faizollahzadeh Ardabili S. et al. Limiting factors for biogas production from cow manure: Energy-environmental approach. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*. 2019. Vol. 13(1). P. 954–966. DOI: <https://doi.org/10.1080/19942060.2019.1654411>.
 17. Kumar J.A., Li J.Z., He J.G. et al. Optimization of Dry Anaerobic Fermentation of Solid Organic Wastes. *Advanced Materials Research*. 2010. Vol. 113–116. P. 740–743.
 18. Jeong K., Abbas A., Shin J. et al. Prediction of biogas production in anaerobic co-digestion of organic wastes using deep learning models. *Water Research*. 2021. Vol. 205. P. 117697–117715. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117697>.
 19. Goberna M., Schoen M.A., Sperl D. et al. Mesophilic and thermophilic co-fermentation of cattle excreta and olive mill wastes in pilot anaerobic digesters. *Biomass and Bioenergy*. 2010. Vol. 34 (3). P. 340–346. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.11.005>.
 20. Castrillón L., Fernández-Nava Y., Ormaechea P. and Marañón E. Optimization of biogas production from cattle manure by pre-treatment with ultrasound and co-digestion with crude glycerin. *Bioresource Technology*. 2011. Vol. 102 (17). P. 7845–7849. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.05.047>.
 21. Grohmann A., Fehrmann S., Vainshtein Y. et al. Microbiome dynamics and adaptation of expression signatures during methane production failure and process recovery. *Bioresource Technology*. 2018. Vol. 247. P. 347–356. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.214>.
 22. Berezkin V.G. Chemical Methods in Gas Chromatography. *Elsevier Science*, 2000. 312 p.
 23. Gottschalk G. Bacterial metabolism (2nd Edition). New York: Springer-Verlag, 1986. 359 p.
 24. Thauer R. Biochemistry of methanogenesis: A tribute to Marjory Stephenson. *Microbiology*. 1998. Vol. 144. P. 2377–2406.

REFERENCES

1. Höök, M. & Tang, X. (2013). Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change – A review. *Energy Policy*, 52, 797–809. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.046> [in English].
2. Martins, F., Felgueiras, C., Smitkova, M. & Caetano, N. (2019). Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impacts in European Countries. *Energies*, 12 (6), 964–975. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12060964> [in English].
3. Tian, H., Li, J., Yan, M. et al. (2019). Organic waste to biohydrogen: A critical review from technological development and environmental impact analysis per-

- spective. *Applied Energy*, 256, 113961–113990. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113961> [in English].
4. Lamb, W.F., Wiedmann, T., Pongratz, J. et al. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters*, 16 (7), 073005–073037. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abec4e> [in English].
 5. Risberg, K., Cederlund, H., Pell, M. et al. (2017). Comparative characterization of digestate versus pig slurry and cow manure – Chemical composition and effects on soil microbial activity. *Waste Management*, 61, 529–538. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.016> [in English].
 6. Appels, L., Lauwers, J., Degréve, J. et al. (2011). Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (9), 4295–4301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.121> [in English].
 7. Rocamora, I., Wagland, S.T., Villa, R. et al. (2020). Dry anaerobic digestion of organic waste: A review of operational parameters and their impact on process performance. *Bioresource Technology*, 299, 122681–112692. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122681> [in English].
 8. Duque-Acevedo, M., Belmonte-Ureña, L.J., Cortés-García, F.J. & Camacho-Ferre, F. (2020). Agricultural waste: Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses. *Global Ecology and Conservation*, 22, 00902–00925. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00902> [in English].
 9. Li, Y., Zhao, J., Krooneman, J. & Euverink, G.J.W. (2021). Strategies to boost anaerobic digestion performance of cow manure: Laboratory achievements and their full-scale application potential. *Science of The Total Environment*, 755, 142940–142965. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142940> [in English].
 10. Weiland, P. (2006). Biomass Digestion in Agriculture: A Successful Pathway for the Energy Production and Waste Treatment in Germany. *Engineering in Life Sciences*, 6 (3), 302–309. DOI: <https://doi.org/10.1002/elsc.200620128> [in English].
 11. Kim, J., Baek, G., Kim, J. & Lee, C. (2019). Energy production from different organic wastes by anaerobic co-digestion: Maximizing methane yield versus maximizing synergistic effect. *Renewable Energy*, 136, 683–690. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.046> [in English].
 12. Tufaner, F. & Aşar, Y. (2016). Effects of co-substrate on biogas production from cattle manure: A review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13 (9), 2303–2312. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1069-1> [in English].
 13. Font-Palma, C. (2019). Methods for the Treatment of Cattle Manure – A Review. *Journal of Carbon Research*, 5 (2), 27–47. DOI: <https://doi.org/10.3390/c5020027> [in English].
 14. Esteves, E.M.M., Herrera, A.M.N., Esteves, V.P. P. & Morgado, C. do R.V. (2019). Life cycle assessment of manure biogas production: A review. *Journal of Cleaner Production*, 219, 411–423 [in English].
 15. Baek, G., Kim, D., Kim, J. et al. (2020). Treatment of Cattle Manure by Anaerobic Co-Digestion with Food Waste and Pig Manure: Methane Yield and Synergistic Effect. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (13), 4737–4750. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17134737> [in English].
 16. Jafari-Sejathood, A., Najafi, B., Faizollahzadeh Ardabili, S. et al. (2019). Limiting factors for biogas production from cow manure: Energo-environmental approach. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 13 (1), 954–966. DOI: <https://doi.org/10.1080/19942060.2019.1654411> [in English].
 17. Kumar, J.A., Li, J.Z., He, J.G. et al. (2010). Optimization of Dry Anaerobic Fermentation of Solid Organic Wastes. *Advanced Materials Research*, 113–116, 740–743 [in English].
 18. Jeong, K., Abbas, A., Shin, J. et al. Prediction of biogas production in anaerobic co-digestion of organic wastes using deep learning models. *Water Research*, 205, 117697–117715. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117697> [in English].
 19. Goberna, M., Schoen, M.A., Sperl, D. et al. (2010). Mesophilic and thermophilic co-fermentation of cattle excreta and olive mill wastes in pilot anaerobic digesters. *Biomass and Bioenergy*, 34 (3), 340–346. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.11.005> [in English].
 20. Castrillón, L., Fernández-Nava, Y., Ormaechea, P. & Marañón, E. (2011). Optimization of biogas production from cattle manure by pre-treatment with ultrasound and co-digestion with crude glycerin. *Bioresource Technology*, 102 (17), 7845–7849. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.05.047> [in English].
 21. Grohmann, A., Fehrmann, S., Vainshtein, Y. et al. (2018). Microbiome dynamics and adaptation of expression signatures during methane production failure and process recovery. *Bioresource Technology*, 247, 347–356. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.214> [in English].
 22. Berezkin, V.G. (2000). Chemical Methods in Gas Chromatography. Elsevier Science [in English].
 23. Gottschalk, G. (1986). Bacterial metabolism. New York [in English].
 24. Thauer, R. (1998). Biochemistry of methanogenesis: A tribute to Marjory Stephenson. *Microbiology*, 144, 2377–2406 [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 14.07.2022

АСПЕКТИ РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНОГО ОПОДАТКУВАННЯ В КОНТЕКСТІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОНОМІКИ ЄВРОПИ

В.М. Поліщук

*КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти» (м. Вінниця, Україна)
e-mail: vpolischuk7@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2810-2183*

Встановлено, що в складних процесах економічної трансформації надзвичайно важливу роль відіграє фіскальна екологічна політика, однією із функцій якої є пряма участь у реалізації природоохоронної політики держав європейського континенту, які рішуче та виважено реагують на поглиблення ресурсних проблем та екологічної кризи. Головним призначенням статті є встановлення впливу екологічних податків на процеси реалізації природозберігаючої політики в європейському економічному просторі із врахуванням фінансово-економічних можливостей європейських країн сучасності. Для реалізації цього завдання застосовані комплексні показники, дослідження яких відбуваються аналітичним методом через проведення порівняльного аналізу. Рекомендовано вивчати та узагальнювати, а за можливості, і впроваджувати в Україні досвід європейських країн щодо формування сучасної системи екологічного оподаткування. Здійснено системний аналіз показників, які характеризують рівень надходжень від екологічних податків у ЄС. Визначено базові аспекти впровадження екологічного оподаткування в європейських країнах, адже реалізація фіскальної екологічної політики має стати одним із стимулювальних факторів збереження природи. Доведено, що деградація довкілля і нераціональне використання природних ресурсів є основним мотивуючим стимулом для трансформації природоохоронної політики в Європі, але для її повноцінної реалізації без ефективного впровадження екологічного оподаткування не обійтись. Використаний широкоформатний дослідницький механізм, що визначає реальний вплив різних видів екологічних податків на підвищення технологічного рівня виробництва та на створення сприятливого інвестиційного клімату. Європейські держави вже досягли певних результатів, але модифікація природоохоронної політики повинна мати безперервний характер та відповідати вимогам часу. Досліджено, що екологічне оподаткування може бути важливим важелем матеріального й психологічного впливу на виробника і споживача товарів та послуг не екологічного спрямування, а фінансові інструменти дедалі частіше використовуються країнами ринкової економіки з метою покращання якості екосистем і умов життя суспільства.

Ключові слова: *фіскальна політика, транспортні податки, податки на забруднення, ресурсні податки, муніципальні відходи, утилізація відходів, природоохоронний збір.*

ВСТУП

У процесі екологізації економіки значну роль відіграє фінансово-економічна складова, в якій чільне місце займає екологічне оподаткування, яке спрямоване на забезпечення умов для сталого розвитку суспільства. Політика природозбереження, раціональне використання продуктивних сил, інноваційні технологічні можливості та ефективна фіскальна екологічна система мають сприяти мінімізації забруднення довкілля. Значна індустріалізація господарства негативно впливає на якість екосистем, що критично позначається на якості здоров'я людства. Для впроваджен-

ня інноваційних технологій, створення сприятливої інвестиційної політики щодо реалізації природоохоронних проєктів необхідно всляко стимулювати розвиток екологічного оподаткування, роль якого в урядових колах часто недооцінюється. Розвиток фіскальної екологічної складової в економіці країн виконує революційну функцію і формує міцний фундамент для модифікації основоположних принципів життя та розвитку сучасного суспільства. Повне розуміння глибини екологічних проблем спонукає до створення сприятливих умов для розвитку такої економіки, в якій важливу роль буде відігравати саме екологічне оподаткування.

Метою дослідження є обґрунтування наукового механізму застосування екологічного оподаткування як складової європейської природоохоронної політики.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Вивчення проблематики, пов'язаної з екологічним оподаткуванням є досить пріоритетним у наукових працях значної кількості сучасних вчених, серед яких: О.О. Веклич, О.П. Маслюківська, І.М. Сянжевич, А.О. Нікітішин, М.А. Хвесик та ін. Тематика екологічного оподаткування є доволі поширеною у світі, адже процес екологізації економіки можливий лише за умови високоефективного впровадження фіскальної природоохоронної політики. Для її успішної реалізації необхідно здійснити аналіз реального стану екологічного оподаткування в європейських державах і використати їх досвід у тих країнах, в яких природоохоронне оподаткування знаходиться тільки на початковій стадії свого розвитку.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

За дослідження застосовувалися загальнонаукові методи (порівняльний аналіз, логічні побудови, синтез, висновки), методи статистичної обробки результатів досліджень, емпіричний, функціональний і системний методи, які є найбільш ефективними для запропонованої тематики. Основою дослідження є виявлення основоположних причинно-наслідкових зв'язків екологізації економіки та реалізації природоохоронної концепції фіскальної політики, визначення ролі екологічного оподаткування в стратегії розвитку національних економік.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У глобальному світі, господарство якого недостатньо екологізоване, фіскальна та екологічна політика спрямована на створення найсприятливіших умов для впровадження результатів її діяльності в реаль-

ному секторі економіки. Ключові позиції у цих процесах посідають передусім країни ЄС та Англо-Америку, яким вдалося за короткий проміжок часу налагодити роботу системи екологічного оподаткування, що слугує каталізатором усіх змін, які пов'язані із збереженням природи. Слід відмітити значні успіхи скандинавських та балтійських країн, які спромоглися значно змінити суспільну екологічну свідомість і здійснити значну економічну трансформацію частково й завдяки впровадженню політики екологічного оподаткування. В багатьох європейських країнах побудована виважена багатofункціональна модель економіки такого природокористування, де основною доктриною економічного розвитку є підтримання правильного балансу між людиною та природою [1]. В Європі екологічні податки є однією із рушійних сил розвитку сучасної економіки, в якій частка надходжень від екологічних податків невпинно зростає, підтвердженням чого є показники, наведені у *табл. 1*.

Згідно з даними *табл. 1*, упродовж 2015–2019 рр. динаміка надходжень від загальних екологічних податків у більшості європейських країн постійно зростала, особливо відчутні позитивні зміни були притаманними для Естонії, Литви, Польщі, Франції та Чехії, а в скандинавських країнах спостерігався найстабільніший рівень таких податкових надходжень. Натомість практично у всіх країнах ЄС з часів початку поширення світової пандемії коронавірусу значення таких надходжень почало активно зменшуватись, чому є логічне пояснення — кризові процеси в економіці негативно відображаються на ефективності реалізації всієї податкової політики.

Екологічні податки поділяють на чотири групи: енергетичні, транспортні, податки на забруднення навколишнього середовища і податки на ресурси. І саме енергетичні податки становлять понад 2/3 від загального рівня екологічних податкових надходжень, адже процеси виробництва та використання електроенергії давно оподатковуються. Найнижча процентна ставка притаманна для тієї енергії, яка

Таблиця 1. Динаміка надходжень від загальних екологічних податків в країнах Європи в період 2015–2020 рр. (млн євро)

| Країни/Рік | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Євросоюз | 298974,85 | 310199,47 | 316588,04 | 324705,15 | 329814,87 | 299884,81 |
| Австрія | 8203,70 | 8384,12 | 8844,75 | 8784,04 | 9058,26 | 7983,35 |
| Болгарія | 1351,75 | 1451,17 | 1468,91 | 1470,47 | 1839,15 | 1859,12 |
| Греція | 6749,00 | 6656,00 | 7129,00 | 6822,00 | 7086,00 | 6226,00 |
| Данія | 10847,41 | 11065,36 | 10808,24 | 10933,38 | 10221,33 | 9891,75 |
| Естонія | 562,83 | 645,19 | 680,76 | 708,95 | 889,55 | 657,37 |
| Ісландія | 340,43 | 391,60 | 481,70 | 470,36 | 442,59 | 381,49 |
| Ірландія | 4977,25 | 5117,49 | 5232,37 | 5119,30 | 5020,42 | 4520,24 |
| Іспанія | 20821,00 | 20793,00 | 21371,00 | 22075,00 | 22018,00 | 19578,00 |
| Італія | 56144,00 | 59481,00 | 58000,00 | 58575,00 | 58304,00 | 50202,00 |
| Кіпр | 544,30 | 554,20 | 608,50 | 632,70 | 583,70 | 533,60 |
| Латвія | 859,36 | 907,89 | 941,53 | 982,73 | 899,70 | 914,22 |
| Литва | 691,52 | 747,92 | 807,40 | 899,78 | 921,31 | 954,42 |
| Ліхтенштейн | 46,95 | 46,27 | 47,07 | 43,50 | 48,25 | — |
| Люксембург | 954,44 | 933,13 | 952,59 | 1028,32 | 1094,36 | 893,33 |
| Мальта | 269,90 | 277,14 | 303,05 | 321,75 | 345,68 | 296,75 |
| Нідерланди | 22925,00 | 23754,00 | 24635,00 | 25877,00 | 27570,00 | 25304,00 |
| Німеччина | 58073,00 | 58442,00 | 59259,00 | 59731,00 | 61119,00 | 57528,00 |
| Норвегія | 8169,19 | 8044,15 | 8123,51 | 8109,82 | 7632,65 | 6454,75 |
| Польща | 11401,74 | 11556,66 | 12512,10 | 13474,36 | 13545,47 | 13330,41 |
| Португалія | 4344,47 | 4819,31 | 5051,86 | 5271,90 | 5418,14 | 4765,48 |
| Румунія | 3951,84 | 4085,32 | 3640,19 | 4033,41 | 4731,71 | 4196,22 |
| Словаччина | 1997,55 | 2019,35 | 2149,02 | 2202,67 | 2245,98 | 2191,20 |
| Словенія | 1509,36 | 1568,70 | 1578,44 | 1559,83 | 1614,82 | 1382,85 |
| Угорщина | 2784,34 | 2941,78 | 3095,07 | 3094,45 | 3307,92 | 2982,81 |
| Франція | 47493,00 | 50125,00 | 53052,00 | 56039,00 | 56327,00 | 50194,00 |
| Фінляндія | 6118,00 | 6709,00 | 6693,00 | 6848,00 | 6730,00 | 6487,00 |
| Хорватія | 1503,40 | 1625,96 | 1730,29 | 1853,35 | 1921,62 | 1646,32 |
| Чехія | 3477,33 | 3728,38 | 3896,98 | 4129,14 | 4594,86 | 4148,06 |
| Швейцарія | 8474,15 | 8557,99 | 8527,64 | 8601,46 | 9038,72 | 9030,28 |
| Швеція | 9801,25 | 10341,43 | 10150,08 | 9813,81 | 9779,30 | 9616,21 |

Примітка: складено автором на основі даних [2].

використовується в технологіях виробництва електроенергії. Екологічні податки електроенергії мають бути спрямовані на широкомасштабне використання відновлювальних джерел енергії [3].

Податки на електроенергію, що введені в більшості країн — членів Європейського Союзу, стали системоформувальною частиною сукупних екологічних податкових надходжень. З усіх країн Європи найвища

частка (понад 50%) енергетичних податків фіксується в Данії та Німеччині.

У кількох європейських країнах функціонують податки на електроенергію, яка виробляється атомними електростанціями, що передбачає створення фінансових умов для подальшої утилізації відпрацьованих речовин з атомних реакторів. Розмір надходжень від енергетичних податків постійно змінюється, а часто навіть корелюється

урядами країн залежно від особливостей функціонування та цінової політики світових ринків енергоносіїв (табл. 2).

Аналізуючи показники, наведені у табл. 2, визначається певна тенденція, що визначає позитивну динаміку надходжень від енергетичних податків у більшості приведених європейських країнах, крім Туреччини, де крива таких надходжень має спадний характер і з 2015 по 2020 рр. відповідні показники знизились на 8374,14 млн євро, а найбільш стабільну парадигму таких надходжень підтримують Нідерланди, Португалія, Словаччина, Швеція та Швейцарія, в яких значні коливання таких даних практично відсутні. У ЄС загалом у період 2015–2019 рр. спостерігається збільшення відповідних надходжень на 24665,72 млн євро, що відображає основну концепцію енергетичного оподаткування. І знову-таки з 2019 р. спостерігається спад надходжень від енергетичних податків, що пов'язано із кризою основних економічних процесів, що певною мірою реагують на значні карантинні обмеження для значною кількості галузей національних економік.

У таких країнах, як Велика Британія впроваджуються певні податкові пільги, де використання електроенергії домогосподарствами не оподатковується, а в низці держав встановлені занижені ставки для держав встановлені занижені ставки для домогосподарств із незначними доходами. Загальнодержавні інституції підписують договори з виробничими установами про впровадження екологічних природоохоронних програм, істотно знижуючи для них податкові ставки.

Слід відмітити, що електричні станції часто беруть участь у роботі платформ торгівлі квотами на викиди, що сприяє падінню рівня податків на електроенергію, на відміну податків на те саме моторне масло [5].

Наразі оподаткування має стимулювати розвиток ринку вітрової та сонячної електроенергетики. Вже починаючи з 2016 р. обсяг електроенергії, що виробляється за допомогою вітрогенераторів, перевищив кількість електроенергії, яка виробляється світовими АЕС. У багатьох країнах ЄС розвиток ринку вітроенергетики забезпечуються податковими кредитами, також

Таблиця 2. Динаміка надходжень від енергетичних податків у деяких європейських країнах у період 2015–2020 рр. (млн євро)

| Країни | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Євросоюз | 231365,86 | 240732,19 | 245753,90 | 251484,59 | 25031,58 | — |
| Данія | 6023,80 | 6134,53 | 5879,36 | 5894,07 | 5285,10 | 5165,80 |
| Естонія | 491,27 | 567,28 | 599,28 | 623,94 | 817,05 | 601,64 |
| Ірландія | 3042,88 | 3135,26 | 3258,00 | 3176,04 | 3015,24 | 2780,57 |
| Іспанія | 17389,00 | 17202,00 | 17693,00 | 18253,00 | 18077,00 | 16192,00 |
| Італія | 45512,00 | 48393,00 | 46868,00 | 47128,00 | 47127,00 | 40297,00 |
| Латвія | 730,58 | 784,27 | 807,95 | 849,27 | 794,23 | 800,20 |
| Мальта | 139,23 | 145,02 | 154,05 | 161,74 | 176,48 | 143,33 |
| Нідерланди | 12788,00 | 13362,00 | 13691,00 | 14487,00 | 15793,00 | 14318,00 |
| Португалія | 3185,49 | 3531,93 | 3640,18 | 3800,02 | 3919,59 | 3598,51 |
| Словаччина | 1762,18 | 1773,70 | 1897,15 | 1941,51 | 1984,19 | 1965,13 |
| Словенія | 1271,13 | 1330,91 | 1344,20 | 1313,41 | 1344,12 | 1060,18 |
| Туреччина | 17358,93 | 17323,64 | 15857,21 | 10112,77 | 10074,94 | 8984,79 |
| Франція | 38472,00 | 41237,00 | 43925,00 | 46290,00 | 46297,00 | 41272,00 |
| Швеція | 7426,2,00 | 7773,66 | 7603,66 | 7136,37 | 7162,84 | 7055,74 |
| Швейцарія | 5905,15 | 6088,58 | 6028,44 | 6144,27 | 6387,72 | 6278,79 |

Примітка: складено автором на основі даних [2; 4].

діють податкові пільги на інвестування в сонячну енергетику, що створює умови для стрімкого розвитку відновлювальної енергетики.

Для реалізації політики природозбереження значну роль відіграють надходження від транспортних податків, які виконують

комплексну функцію в структурі побудови екологізованих транспортних систем у ЄС. Такі надходження щороку зростають, що свідчить про загальну позитивну динаміку і збільшення ролі транспортних податків у структурній моделі екологічного оподаткування (табл. 3).

Таблиця 3. Динаміка надходжень від транспортних податків у країнах Європи в період 2014–2019 рр. (млн євро)

| Країни/Рік | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Євросоюз | 55168,82 | 57213,29 | 58934,00 | 60488,46 | 62515,55 | 63029,77 |
| Австрія | 2875,39 | 2908,19 | 3018,40 | 3218,62 | 3294,73 | 3403,79 |
| Болгарія | 121,17 | 129,40 | 155,35 | 156,74 | 174,18 | 180,50 |
| Бельгія | 2795,8 | 2858,00 | 2826,10 | 2918,80 | 3018,00 | 3066,30 |
| Велика Британія | 13578,62 | 15079,08 | 13535,42 | 12907,93 | 13111,64 | 14109,62 |
| Греція | 1308,95 | 1371,01 | 1389,98 | 1440,00 | 1455,00 | 1501,00 |
| Данія | 3885,42 | 4198,82 | 4375,12 | 4420,27 | 4513,99 | 4441,09 |
| Естонія | 11,30 | 12,16 | 12,52 | 13,04 | 13,23 | 13,37 |
| Ісландія | 82,03 | 102,36 | 123,18 | 157,99 | 146,34 | 114,30 |
| Ірландія | 1796,15 | 1887,14 | 1923,95 | 1928,81 | 1917,11 | 1986,75 |
| Іспанія | 2549,00 | 2553,00 | 2665,96 | 2726,04 | 2865,00 | 2962,96 |
| Італія | 9672,00 | 9987,00 | 10490,00 | 10492,00 | 10877,00 | 10687,00 |
| Кіпр | 116,38 | 113,48 | 114,49 | 121,02 | 123,42 | 114,22 |
| Латвія | 103,92 | 110,87 | 115,68 | 112,85 | 115,80 | 116,41 |
| Литва | 36,74 | 31,73 | 33,65 | 34,45 | 38,46 | 38,27 |
| Ліхтенштейн | 21,64 | 24,72 | 24,91 | 25,75 | 24,83 | 25,83 |
| Люксембург | 69,62 | 69,45 | 67,68 | 67,50 | 67,93 | 68,27 |
| Мальта | 94,64 | 108,58 | 112,86 | 123,65 | 130,73 | 136,54 |
| Нідерланди | 6555,00 | 7001,00 | 7161,00 | 7678,00 | 8077,00 | 8236,00 |
| Німеччина | 9489,00 | 9831,80 | 10027,10 | 10064,70 | 10250,00 | 10539,27 |
| Норвегія | 3706,07 | 3346,07 | 3276,65 | 3132,52 | 2858,56 | 2637,07 |
| Польща | 829,05 | 911,78 | 965,57 | 1063,89 | 1147,01 | 1185,32 |
| Португалія | 1014,65 | 1122,86 | 1251,36 | 1374,47 | 1435,02 | 1458,62 |
| Румунія | 393,52 | 403,00 | 400,79 | 258,23 | 280,90 | 313,93 |
| Словаччина | 207,64 | 203,90 | 213,51 | 223,29 | 232,59 | 233,09 |
| Словенія | 170,53 | 177,45 | 177,72 | 187,48 | 198,56 | 204,42 |
| Туреччина | 7266,51 | 8801,72 | 8901,96 | 8211,52 | 5456,20 | 4651,11 |
| Угорщина | 469,45 | 496,52 | 519,33 | 558,31 | 579,01 | 464,91 |
| Франція | 6319,00 | 6303,00 | 6155,00 | 6375,00 | 6764,00 | 6747,00 |
| Фінляндія | 1854,08 | 1819,41 | 2051,80 | 2179,40 | 2211,21 | 2113,15 |
| Хорватія | 368,99 | 370,00 | 391,56 | 431,01 | 415,75 | 429,47 |
| Чехія | 214,52 | 228,82 | 237,26 | 253,06 | 262,76 | 269,38 |
| Швейцарія | 2067,27 | 2460,02 | 2376,46 | 2404,79 | 2363,98 | 2541,22 |
| Швеція | 1846,90 | 2004,92 | 2080,28 | 2067,86 | 2057,16 | 2118,75 |

Примітка: складено автором на основі даних [2; 4].

Проаналізувавши показники надходжень від екологічних податків за 2014–2019 рр. стає зрозумілим, що найбільше такі надходження зросли в: Німеччині — на 1050,27 млн євро, Італії — на 1015 млн євро, Данії — на 555,67 млн євро, Великій Британії — на 531 млн євро, Австрії — на 528,4 млн євро, Швейцарії — на 473,95, Франції — на 428 млн євро, Швеції — на 271,85 млн євро, Фінляндії — на 259,07 млн євро, тоді як у Туреччині вони скоротились на 2615,4 млн євро, Норвегії — на 1069 млн євро, при тому, що в майже усіх інших досліджуваних країнах спостерігається повільна стабільна позитивна динаміка від таких надходжень. Цьому є цілком логічне пояснення, адже в більшості країн європейського економічного простору вже тривалий період функціонують транспортні податки, надходження від використання паливно-мастильних матеріалів та інших складових роботи автотранспорту. Автотранспортні засоби зі значним об'ємом двигуна першими потрапили під дію податку на викиди автомобілем парникових газів. ЄС стимулює впровадження такого податку для перетворення автомобілів на екологічно чистий вид транспорту з економними двигунами. Формується повноцінний масштабний ринок електромобілів і автомобілів-гібридів, при купівлі яких споживачі претендують на значну матеріальну компенсацію від держави і істотно стимулюють виробництво такої продукції. Сучасний автомобіль використовує на 15% менше палива, ніж десять років тому, а технологічно-інноваційний рівень автомобілебудування стрімко зростає в усьому світі. В Україні ж основними транспортними податками є збір за першу реєстрацію транспортного засобу — акцизний податок та мито. Акцизний податок на транспортні засоби має першочергово збільшувати частку автомобілів із меншим об'ємом двигуна [6].

У *табл. 4* проведений аналіз динаміки надходжень від податків на забруднення навколишнього середовища в країнах Європи в період 2014–2019 рр. Такий системний аналіз є основоположним аспектом

та вагомим аргументом на користь безвідходного виробництва і раціонального використання природних ресурсів.

Згідно з даними, приведеними у *табл. 4* в період 2014–2019 рр. у низці країн Європи величина надходжень від податків на забруднення навколишнього середовища постійно зростає. Так, у Франції за цей період часу такі надходження зросли на 540,99 млн євро, Іспанії — на 237,6 млн євро, Швеції — на 133,81 млн євро, Угорщині — на 86,84 млн євро, Швейцарії — на 84,26 млн євро, при загальному зростанні по ЄС на 1271,77 млн євро. Досить очікувано такі надходження знизились у Великій Британії на 524,73 млн євро, Данії — на 86,66 млн євро, Фінляндії — на 58,14 млн євро, Ірландії — на 29,15 млн євро, адже уряди цих країн досить тривалий час активно реалізують політику, що спрямована на зниження забруднення довкілля внаслідок впровадження високоефективних технологічних проєктів та вагомих капіталовкладень у інвестиційно-інноваційну складову промислового виробництва. У переважній же більшості держав рівень таких надходжень є досить стабільним та прогнозованим, адже й рівень забруднення природи також перестав зростати. Так, країни ЄС досягли вагомих результатів щодо декарбонізації, передумовою якої є високі ціни на енергоносії, які наразі забезпечують еквівалент «ефективної» глобальної ціни на вуглець, приблизно 75–90 дол. США за 1 т і таким чином формують умови, які сприяють глобальній декарбонізації. Починаючи з 2021 р. ціни на природний газ збільшилися до 30 євро за ГДж, при цьому спостерігається надійний зв'язок між оптовими цінами на природний газ та електроенергію, адже електроенергія, що виробляється завдяки використанню природного газу створює ринковий варіант генерації. Сьогодні оптові ціни на електроенергію зросли з тривалого стабільного рівня у 50 євро за МВт-год до приблизно 200 євро, при цьому вищі ціни на вуглець також певною мірою сприяли цьому підвищенню. Вищі ціни на енергоносії повинні пришвидшити перехід до декарбонізації та

Таблиця 4. Динаміка надходжень від податків на забруднення навколишнього середовища в країнах Європи в період 2014–2019 рр. (млн євро)

| Країни/Рік | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Євросоюз | 8528,55 | 8981,33 | 8941,04 | 9028,33 | 9227,56 | 9800,32 |
| Австрія | 53,74 | 55,69 | 58,11 | 62,50 | 79,34 | 69,38 |
| Болгарія | 9,19 | 9,03 | 9,37 | 10,70 | 4,27 | 4,00 |
| Бельгія | 466,84 | 459,36 | 527,45 | 510,48 | 505,26 | 493,48 |
| Велика Британія | 1417,90 | 1416,30 | 1249,57 | 1031,17 | 951,72 | 893,17 |
| Данія | 335,88 | 378,52 | 321,29 | 275,29 | 282,06 | 249,22 |
| Естонія | 44,22 | 44,92 | 50,14 | 52,72 | 54,53 | 44,29 |
| Ісландія | 40,35 | 49,89 | 59,64 | 74,90 | 76,84 | 74,53 |
| Ірландія | 46,43 | 46,07 | 57,13 | 44,39 | 25,08 | 17,28 |
| Іспанія | 566,00 | 706,00 | 749,00 | 774,00 | 767,60 | 803,60 |
| Італія | 538,00 | 645,00 | 598,00 | 640,00 | 570,00 | 490,00 |
| Латвія | 11,90 | 12,44 | 9,94 | 15,21 | 17,49 | 17,05 |
| Литва | 16,65 | 13,17 | 12,74 | 15,22 | 22,21 | 20,10 |
| Ліхтенштейн | 0,38 | 0,45 | 0,39 | 0,37 | 0,35 | 0,40 |
| Нідерланди | 53,74 | 55,69 | 58,11 | 62,50 | 79,34 | 69,38 |
| Норвегія | 236,88 | 231,18 | 234,22 | 238,55 | 245,58 | 247,59 |
| Португалія | 20,20 | 16,09 | 15,22 | 15,50 | 15,45 | 18,00 |
| Румунія | 4,48 | 4,61 | 4,77 | 5,25 | 5,13 | 5,48 |
| Словаччина | 30,91 | 31,47 | 32,14 | 28,58 | 28,59 | 28,69 |
| Словенія | 29,77 | 28,40 | 28,71 | 25,33 | 24,79 | 23,62 |
| Туреччина | 33,10 | 27,48 | 26,71 | 38,52 | 70,78 | 76,87 |
| Угорщина | 206,68 | 266,47 | 272,20 | 282,63 | 288,42 | 293,52 |
| Франція | 2543,01 | 2452,00 | 2463,00 | 2472,00 | 2641,00 | 3084,00 |
| Фінляндія | 86,14 | 74,89 | 50,00 | 39,99 | 38,00 | 28,00 |
| Чехія | 29,27 | 30,98 | 25,97 | 22,37 | 25,03 | 24,04 |
| Швейцарія | 159,45 | 187,52 | 236,54 | 234,07 | 235,76 | 243,71 |
| Швеція | 105,40 | 111,94 | 110,99 | 176,02 | 234,25 | 239,21 |

Примітка: складено автором на основі даних [7; 8].

посилити зобов'язання щодо декарбонізації і унеможливити повернення до використання вугілля. Кілька років тому оптові ціни на електроенергію та змінні витрати на відновлювану енергію були порівнянними, близько 50 євро за МВт-год і 60 євро за МВт-год відповідно, але прогнозується, що витрати на відновлювані джерела базового навантаження зростатимуть до 180 євро за МВт-год. Ці додаткові витрати більше пов'язані з оплатою електричним станціям, які використовують викопне паливо, для того, щоб вони працювали стабільно та гнучко реагували на обсяг виробництва

з ВДЕ, які не забезпечуватимуть «дешево» енергію. Враховуючи ціни на вуглець і природний газ, затрати на електроенергію на базі природного газу залишатимуться вищими за базові витрати на ВДЕ, адже витрати на енергію, що виробляється за рахунок викопного палива стають вищими, в т. ч. через ціну на вуглець. Для підвищення рівня енергетичної безпеки необхідно прискорити інвестиції у ВДЕ, щоб створити умови для швидкого будівництва відповідної інфраструктури. Очікується стрімке зниження витрат на ВДЕ до 2050 р. і прогнозується, що базові ви-

трати на відновлювану енергію стануть близько 70 євро за МВт-год. Використання відновлювальних джерел енергії стимулює декарбонізацію значного сектору економіки, але це не забезпечить «дешеві» поставки електроенергії порівняно зі стабільними цінами на енергію. Ціна на викиди вуглецю має збільшити вартість викопної енергії так, щоб вигідно було розвивати альтернативну енергетику. Є чітке переконання в тому, що вуглецевий збір важливий для економіки саме тому, щоб збільшити вартість технологій на базі викопного палива та відповідно знизити ціну на такі технології, які є низьковуглецевими та природозберігаючими.

Обсяги використання природних ресурсів у багатьох секторах ринкової економіки постійно зростають, тому регулярно збільшується частка надходжень від ресурсних

податків в європейських країнах, свідченням чого є показники, наведені у *табл. 5*.

В Євросоюзі загалом у період 2014–2019 рр. надходження від ресурсних податків зросли на 135,84 млн євро, тоді як у Туреччині – на 62,58 млн євро, Іспанії – на 48,4 млн євро, Бельгії – на 37,6 млн євро, Великій Британії – на 31,59 млн євро, Нідерландах – на 23 млн євро, Норвегії – на 11,45 млн євро. У Франції скоротились такі надходження на 46,8 млн євро, Польщі – на 26,11 млн євро, Швеції – на 2,14 млн євро, а в інших країнах спостерігається стає незначне зростання таких показників в силу промислово-технологічного рівня економіки. Багато країн змушені переглянути свою політику використання ресурсів і падіння надходження від ресурсних податків зовсім не означає їх малу ефективність, а скоріше свідчить про

Таблиця 5. Динаміка надходжень від ресурсних податків у країнах Європи в період 2014–2019 рр. (млн євро)

| Країни/Рік | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Євросоюз | 1350,51 | 1390,92 | 1412,33 | 1429,05 | 1533,61 | 1486,35 |
| Австрія | 21,96 | 23,41 | 23,15 | 23,85 | 24,69 | 28,91 |
| Болгарія | 21,43 | 21,60 | 23,31 | 20,19 | 27,66 | 27,62 |
| Бельгія | 43,10 | 37,90 | 33,41 | 30,35 | 78,68 | 80,70 |
| Велика Британія | 450,31 | 516,64 | 519,84 | 451,71 | 437,43 | 481,90 |
| Данія | 233,26 | 246,21 | 234,41 | 233,34 | 243,30 | 245,88 |
| Естонія | 13,74 | 14,51 | 15,24 | 15,69 | 17,45 | 14,84 |
| Іспанія | 126,00 | 173,00 | 176,00 | 178,00 | 189,40 | 174,40 |
| Кіпр | 2,95 | 2,94 | 3,66 | 7,69 | 9,74 | 10,03 |
| Латвія | 9,22 | 10,32 | 9,06 | 11,69 | 13,91 | 14,72 |
| Люксембург | 5,94 | 14,72 | 13,81 | 10,15 | 9,18 | 10,59 |
| Нідерланди | 274,00 | 261,00 | 279,00 | 280,00 | 288,00 | 297,00 |
| Норвегія | 30,88 | 36,20 | 40,47 | 40,53 | 41,99 | 42,33 |
| Польща | 37,28 | 28,20 | 22,24 | 10,57 | 12,44 | 11,17 |
| Румунія | 5,54 | 3,60 | 5,70 | 4,53 | 4,32 | 3,37 |
| Словенія | 29,09 | 32,42 | 30,98 | 29,92 | 30,69 | 32,05 |
| Туреччина | 339,57 | 271,57 | 282,00 | 285,66 | 327,77 | 402,15 |
| Угорщина | 11,98 | 11,64 | 17,50 | 28,37 | 23,69 | 25,61 |
| Франція | 450,00 | 419,00 | 432,00 | 450,00 | 457,39 | 403,20 |
| Фінляндія | 23,00 | 23,00 | 23,00 | 22,00 | 27,00 | 27,00 |
| Хорватія | 7,07 | 6,87 | 7,06 | 7,29 | 9,56 | 16,95 |
| Швеція | 15,17 | 15,72 | 16,58 | 16,71 | 14,33 | 13,03 |

Примітка: складено автором на основі даних [7; 8].

якісну реалізацію гнучкої ресурсної політики, яка передбачає значне скорочення обсягів використання природних ресурсів та технологічні можливості щодо впровадження безвідходного виробництва. ЄС позбувається матеріаломістких та енергомістких виробництв, надаючи перевагу низькоресурсним технологіям та стрімкому розвитку третинного та четвертинного секторів економіки [9].

У Швейцарії створили батарейку, яка є екологічно чистою та повністю біорозкладною тому, що її виготовили з паперу з нанесеною кухонною сіллю. З одного боку паперової смужки наноситься графітові частинки, які утворюють катод, а з протилежного боку — цинк, який створює анод, при цьому використовується спеціальна фарба. Щоб запустити в роботу батарейку необхідно тільки нанести 2-3 краплі води на папір, після чого сіль розчиняється і розпочинається окислювально-відновна реакція шляхом іонної провідності. При окисленні цинку вивільнюються електрони і якщо під'єднати навантаження до контактів, то потік електронів піде до катода, де відбудеться відновна реакція з використанням кисню, до того ж процес триває до моменту висихання води чи до закінчення запасу цинку. При першому змочуванні напруга без навантаження буде 1,2 В, при повторному — приблизно 0,5 В, час роботи сягає 1 год. Коли буде знайдено технологічний спосіб, щоб батарейка не висихала, тоді й можливо запустити їх серійне виробництво, що мінімізує ресурсну складову виробництва батарей і створить вагомий

економічний ефект від використання резервних джерел живлення.

Слід враховувати і те, що рівень муніципальних відходів у країнах Європи невинно зростає, свідченням чого є показники, приведені у *табл. 6*. Це створює значний забруднювальний ефект і спонукає до значних інвестицій у мало чи безвідходні технології.

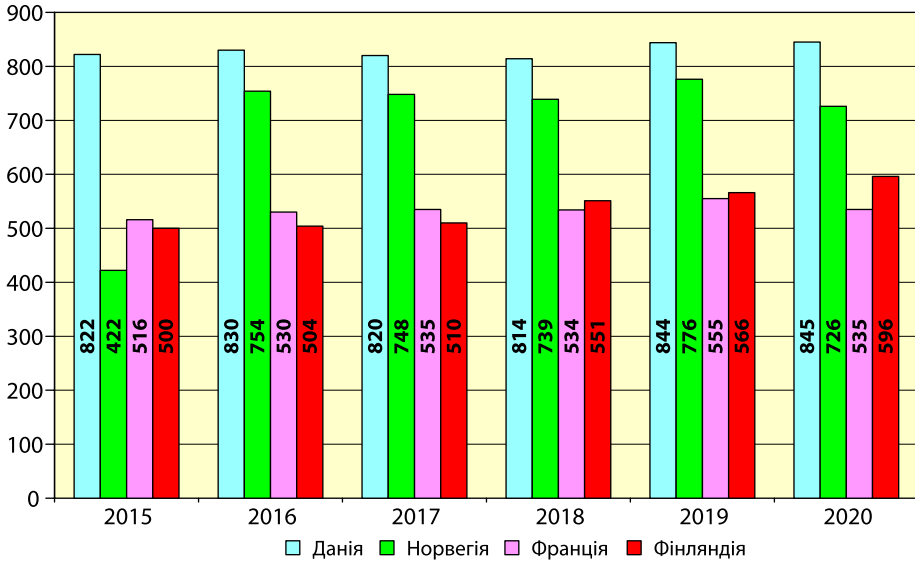
Як видно з показників *табл. 6*, у Євросоюзі з 2015 по 2020 рр. величина муніципальних відходів зросла на 12323 тис. т, у Данії — на 2082 тис. т, Франції — на 1810 тис. т, Норвегії — на 1718 тис. т, натомість у Німеччині та Фінляндії істотного збільшення кількості відходів не спостерігалось. В економічно самодостатніх країнах рівень виробництва і споживання постійно зростає, але й активно впроваджуються технології переробки відпрацьованої сировини та утилізації відходів. Зростає і рівень муніципальних відходів на душу населення (*рис.*), що знижує частково його платоспроможність і створює додаткове навантаження на служби, які забезпечують вивіз, сортування та переробку відходів.

У Данії за досліджуваний період кількість муніципальних відходів на 1 чол. зросла на 23 кг і динаміка їх утворення є прогнозованою і сталою, в Норвегії відходів збільшилось на 304 кг/чол., але саме з 2015 по 2016 рр. спостерігається їх стрімке зростання, у Франції їх кількість зросла на 19 кг/чол., Фінляндії — на 96 кг/чол. Це характеризує певний баланс між використанням товарів і послуг та утворенням відходів, які можуть частково вирішити ресурсну

Таблиця 6. Динаміка зміни величини муніципальних відходів у деяких країнах Європи в період 2015–2020 рр. (тис. т)

| Країни/Рік | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Євросоюз | 213409 | 218028 | 220957 | 221614 | 223956 | 225732 |
| Данія | 3337 | 3580 | 5177 | 5248 | 5338 | 5419 |
| Німеччина | 4671 | 4757 | 4728 | 4715 | 4907 | 4927 |
| Норвегія | 2187 | 3946 | 3949 | 3927 | 4151 | 3905 |
| Франція | 34344 | 35356 | 35817 | 35889 | 37397 | 36154 |
| Фінляндія | 2738 | 2768 | 2812 | 3041 | 3123 | 3296 |

Примітка: складено автором на основі даних [4; 10].



Динаміка утворення муніципальних відходів у деяких країнах ЄС у 2015–2020 рр., кг/чол.
Примітка: розроблено автором.

проблему, за умови їх повної переробки і рециклінгу. Для свідомого громадянського суспільства фінансово не вигідно продукувати велику кількість відходів, адже перспектива широкого впровадження податків на відходи є абсолютною реальністю.

Зараз реалізується багато проектів щодо переробки та утилізації пластику. У норвезьких озерах знайдено кілька штампів бактерій, що здатні харчуватися пластиком та які в найближчому майбутньому можна буде використовувати для знищення пластикового сміття. Насамперед це стосується бактерій із родів *Hymenobacter* та *Deinococcus*, які ростуть у 2,3 раза швидше, якщо в озерну воду з цими бактеріями помістити старі пластикові пакети, які безпосередньо впливають на розвиток популяції бактерій. Вуглеводні з пакетів із хімічної точки зору є більш доступнішими для мікробів, ніж органічні речовини, що присутні в озерній воді і на дні. Тепер залишається лише виділити ті штами бактерій, що найкраще будуть справлятися із пластиком і використовувати їх як активну зброю для боротьби з пластиковими відходами, кількість яких щороку зростає.

У більшості країн — членів Євросоюзу реалізується комплексна природоохоронна програма, в якій акцентується увага на необхідності створення і розширення площ об'єктів природно-заповідного фонду та стимулювання інвесторів, які будуть спрямовувати значні фінансові ресурси на реалізацію політики природозбереження [11].

Констатується доволі позитивна динаміка зміни площ морської заповідної зони країн Євросоюзу, адже морські держави довго і активно використовували шельфову та морську економічну зону в господарських цілях, в результаті чого піднявся рівень забруднення акваторії морів басейну Північного Льодовитого та Атлантичного океанів, що й переконує у потребі збільшення морських площ, що будуть під охороною держав (табл. 7).

Згідно з даними табл. 7, впродовж 2012–2019 рр. найбільше зросла площа морської заповідної зони у Румунії на 15,1%, Литві — на 13,6, Іспанії — на 10,9, Швеції — на 8,8%, при зростанні по ЄС таких площ на 7,5%.

Україні необхідно впроваджувати досвід країн Євросоюзу, в яких розробляється низка вагомих проектів з органічного

Таблиця 7. Збільшення площ морської заповідної зони країн ЄС в 2012–2019 рр. (%)

| Країни/Рік | 2012 | 2016 | 2019 |
|------------|------|------|------|
| Євросоюз | 4,2 | 7,4 | 10,7 |
| Іспанія | 1,1 | 7,9 | 12,0 |
| Кіпр | 0,1 | 0,1 | 8,6 |
| Литва | 10,5 | 24,1 | 24,1 |
| Румунія | 6,4 | 21,4 | 21,5 |
| Хорватія | 1,2 | 9,1 | 9,5 |
| Швеція | 6,7 | 15,3 | 15,5 |

Примітка: складено автором на основі даних [10; 11].

землеробства, безвідходного виробництва, переробки та утилізації відходів, екологізації транспортних систем, інноватизації виробничих процесів та екологізації фіскальної політики. Результативним і успішним може бути тільки таке суспільство, в якому прикладаються максимальні зусилля для підтримки повного балансу між людиною і природою [12; 13].

ВИСНОВКИ

Екологізація податкової системи першочергово має бути спрямована на досягнення природоохоронного ефекту та вирішення екологічної проблематики. В нашій державі необхідно усвідомити, що екологічні податки мають важливе значення не лише для процесу формування бюджету, але й повинні істотно впливати на реалізацію програм природозбереження. Важливо збільшити ефективність використання фінансових важелів впливу, які понизять рівень природного забруднення і стабілізують роботу платформ екологічного інвестування, але усвідомлюючи при цьому, що екологічні податки за певних обставин можуть чинити негативний вплив на економіку через скорочення обсягів виробництва і споживання матеріаломісткої та енергоємкої продукції. Важливо віднай-

ти такі механізми охорони природи, які стимулювали б економіку і спонукали б до екологізації суспільства.

Ефективність екологічного оподаткування може залежати від якості адміністрування, яке визначає рівень забруднення, варіативність податкових ставок та їх можливість адекватно реагувати на екологічні і економічні виклики. Екологічний податок спрямований на масштабне розуміння того, що розмір податку має підвищуватися при зростанні негативного впливу на довкілля та знижуватись при дотриманні платником податків природоохоронних вимог. Податкові реформи в ЄС створюють повне розуміння того, що саме екологізація фіскальної політики вже у короткостроковій перспективі дасть очікуваний природозберегаючий результат, а вмиле використання інструментів екологічного оподаткування позитивно впливає на процес раціонального використання природних ресурсів, стимулює впровадження технологічних інновацій у виробництва та екологічного інвестування і кредитування. Податкові пільги є мотивуючим чинником для модернізації виробництва і започаткування екологічно «чистих» технологій, а сучасне екологічне оподаткування відіграє ключову роль у процесі модифікації природозберегаючої політики Європи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фурдичко О.І., Палапа Н.В., Нагорнюк О.М. та ін. Європейський досвід збалансованого розвитку об'єднаних територіальних громад: наукове видання / за ред. Дребот О.І. Київ: ДІА, 2021. 53 с.
2. Database on instruments used for environmental policy. URL: http://www2.oecd.org/eoconst/queries/Query_2.aspx?QryCtx=1# (дата звернення: 08.07.2022 р.).

3. Нікітішин А. Податкове регулювання як інструмент державної екологічної політики. *Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право*. 2017. № 2. С. 126–137.
4. Eurostat. Environmental tax revenues. URL: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_ac_tax&lang=en (дата звернення: 03.07.2022 р.).
5. Поліщук В. Регулювання механізмів екологізації економіки за допомогою реалізації екологічного оподаткування. *Економічний часопис Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. 2018. № 1 (13). С.111–118.
6. Нікітішин А.О. Податкова політика в умовах економічних перетворень: моногр. Київ: Київ. нац. торг-екон. ун-т, 2019. 480 с.
7. Roberton C. Williams III. Environmental Taxation. *NBER Working paper*. 2016. № 22303. P. 5–8. URL: <http://www.nber.org/papers/w22303.pdf> (дата звернення: 01.07.2022 р.).
8. Eurostat. Environmental tax revenues. URL: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do> (дата звернення: 07.07.2022 р.)
9. Економічні аспекти управління природними ресурсами та забезпечення сталого розвитку в умовах децентралізації влади в Україні / за ред. М.А. Хвесика, С.О. Лизуна. Київ: ДУ ІЕПСР НАН України, 2015. 72 с.
10. Taxing Energy Use. URL: <http://www.compareyourcountry.org/taxing-energy?cr=oced&lg=en> (дата звернення: 04.07.2022 р.)
11. Ковалів О.І. Головна неврегульована в Україні передумова погіршення якісного стану природних об'єктів. *Збалансоване природокористування*. 2020. № 4. С. 5–16.
12. Лазаренко В.І. Сутність екологічного маркетингу в аграрному секторі економіки. *Збалансоване природокористування*. 2016. № 2. С. 26–41.
13. Глубицька Т.В. Концептуальні основи функціонування еколого-економічних систем. *Вісник СумДУ. Сер.: Економіка*. 2013. № 1. С. 5–10.

REFERENCES

1. Furdychko, O.I., Palapa, N.V., Nagornyuki, O.M. & Drebot, O.I. (Ed.). (2021). *Jevropejs'kij dosvid zbalansovanogo rozvytku ob'jednanyh terytorial'nyh gromad [European experience of balanced development of united territorial communities]*. Kyiv [in Ukrainian].
2. Database on instruments used for environmental policy. URL: http://www2.oecd.org/ecoinst/queries/Query_2.aspx?QryCtx=1# [in English].
3. Nikitishyn, A. (2017). Podatkove reguljuvannya jak instrument derzhavnoi' ekologichnoi' polityky [Tax regulation as an instrument of state environmental policy]. *Zovnishnya torhivlya: ekonomika, finansy, pravo – Foreign trade: economics, finance, law*, 2, 126–137 [in Ukrainian].
4. Eurostat. Environmental tax revenues. URL: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_ac_tax&lang=en [in English].
5. Polishchuk, V. (2018). Regulyuvannya mekhanizmiv ekologizatsii ekonomiki za dopomogyu realizatsii ekologichnogo opodatkuvannya [Regulation of the mechanisms of ecologization of the economy through the implementation of environmental taxation]. *Ekonomichnii chasopis Shkidoevropeiskogo natsional'nogo universitetu imeni Lesi Ukrainki – Economic journal of Lesya Ukrainka East European National University*, 1 (13), 111–118 [in Ukrainian].
6. Nikitishyn, A.O. (2019). *Podatkova polityka v umovakh ekonomichnykh peretvoeren': monohrafiya [Tax policy in the context of economic transformation: monograph]*. Kyiv [in Ukrainian].
7. Roberton, C. (2016). Environmental Taxation. *NBER Working paper*, 22303, 5–8. URL: <http://www.nber.org/papers/w22303.pdf> [in English].
8. Eurostat. Environmental tax revenues. URL: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do> [in English].
9. Khvesyk, M.A. & Lyzun, S.O. (Eds.). (2015). *Ekonomichni aspekty upravlinnja pryrodnyimi resursamy ta zabezpechennja stalogo rozvytku v umovakh decentralizaciji vlady v Ukraini [Economic aspects of natural resource management and ensuring sustainable development in the conditions of decentralization of power in Ukraine]*. Kyiv [in Ukrainian].
10. Taxing Energy Use. URL: <http://www.compareyourcountry.org/taxing-energy?cr=oced&lg=en> [in English].
11. Kovaliv, O. (2020). Holovna nevrehulovana v Ukraini peredumova pohirshennya yakisnoho stanu pryrodnykh obyektiv [The main unregulated precondition in Ukraine is the deterioration of the quality of natural objects]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia – Balanced nature management*, 4, 5–16 [in Ukrainian].
12. Lazarenko, V. (2016). Sutnist ekolohichnoho marketingu v ahrarynomu sektori ekonomiky Instytutstionalne zabezpechennja realizatsiyi ekolohichnoho marketingu v ahrarynomu sektori ekonomiky [The essence of environmental marketing in the agrarian sector of the economy]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia – Balanced nature management*, 2, 26–41 [in Ukrainian].
13. Glubitska, T.V. (2013). Konceptual'ni osnovy funktsionuvannja ekologo-ekonomichnykh system [Conceptual bases of functioning of ecological and economic systems]. *Visnyk SumDU. Serija: Ekonomika – Bulletin of SSU. Series: Economics*, 1, 5–10 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 07.06.2022

ТРАНСФОРМАЦІЯ ФІТОСТРОМИ ГІДРОЗАКАЗНИКА «РЕЧИЦЯ» ВНАСЛІДОК ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ

О.О. Орлов¹, В.В. Коніщук², В.В. Мартиненко^{2,3}

¹ ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» (м. Київ, Україна)
e-mail: orlov.botany@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2923-5324

² Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: konishchuk_vasyl@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4115-5642

³ Природний заповідник «Древлянський» (сmt Народичі, Житомирська обл., Україна)
e-mail: martinenko.vasil@ukr.net; ORCID: 0000-0002-2526-6732

У результаті незаконного видобутку бурштину на території гідрологічного заказника «Речиця» впродовж 4 років (2014–2017 рр.) було пошкоджено 97,0 га, або 80,8% його площі, в т. ч. на площі 59,2 га (49,3% площі заказника) відбулися катастрофічні зміни — повне знищення природних екосистем; на 37,8 га, або 31,5% площі заказника відбуваються поступові негативні зміни — проявляється сильний вплив на природні екосистеми з боку оточуючих кварталів, порушених видобутком бурштину. У результаті незаконного видобутку бурштину на території гідрологічного заказника «Речиця» було втрачено всі пріоритети охорони як на видовому, так і ценотичному рівнях. На його території найбільшу цінність мали мезо-оліготрофні старовікові, 130-річні соснові сфагнові болота (унікальні еталонні ділянки), безлісі оліготрофні осоково-сфагнові болота, ділянки старовікових, 110-річних суходільних сосново-дубових ацидофільних, флористично багатих лісів. До антропогенного порушення природних екосистем заказника на його території пріоритетами охорони на видовому рівні були 8 видів судинних рослин, а також 5 видів тварин, занесених до Червоної книги України. На ценотичному рівні охоронялися рідкісні ценози лісо-болотних мезо-оліготрофних та оліготрофних боліт заказника, занесені до Зеленої книги України. На 8-ми ділянках, які межують з сильно порушеними ділянками, нині проявляється сильний вплив на природні екосистеми з боку оточуючих порушених кварталів, зумовлений негативними змінами загального гідрологічного режиму території — як правило, значним підсушенням, результатом чого є деградація природного рослинного покриву. Сумарна площа таких ділянок у заказнику «Речиця» дорівнює 37,8 га, або 31,5% площі заказника. Ці поступові зміни проявляються передусім у втраті екологічної стійкості екосистем, випаданні на першому етапі найбільш вологолюбних видів, розрідженні та поступовому відмиранні крон деревостану, зменшенні видового та ценотичного різноманіття флори і фауни. На території колишнього заказника, порушеній незаконним видобутком бурштину, необхідно провести інженерну рекультивацию, після чого — біологічну, а саме — посадку березово-соснових культур.

Ключові слова: флора, рослинність, мезо-оліготрофні болота, рідкісні види рослин та тварин, Червона книга України, Житомирська обл.

ВСТУП

Гідрологічний заказник місцевого значення «Речиця» створено на площі 120 га згідно з рішенням Житомирського облвиконкому № 115 від 02.04.1984 р. з метою збереження болотного масиву-регулятора рівня ґрунтових вод та цінних болотних видів лікарських рослин.

Територія заказника знаходиться у Житомирській обл., Коростенському адмініст-

ративному районі, у 4–6 км на захід від с. Рудня-Замисловицька. Землекористувачем є ДП «Білокоровицький лісгосп». За даними лісовпорядкування 2018 р., територія заказника розташована у Поясківському лісництві (112,2 га) — кварталі 20, виділах 29, 31–37; кварталі 21, виділах 6, 7, 17, 18, 20–22, 26–28; кварталі 22, виділах 25, 33, 35); кварталі 23, виділах 1, 2, 14, 33, 36, 37; кварталі 25, виділах 8, 37–40 та Тепеницькому лісництві (7,8 га) — квар-

талі 7, виділах 25–28 та кварталі 12, виділах 55–57.

За фізико-географічним районуванням України [1], територія заказника знаходиться на Східноєвропейській рівнині, у зоні мішаних (хвойно-широколистяних) лісів, Поліському краї, області Житомирського Полісся, Олевсько-Білокоровицькому фізико-географічному районі.

За геоботанічним районуванням України [2], територія заказника розташована в Європейській широколистяно-лісовій області, Східноєвропейській (Сарматській) провінції хвойно-широколистяних та широколистяних лісів, у північній частині Центральнопольського округу грабово-дубових, дубово-соснових лісів, заплавної луки та евтрофних боліт. Північне розташування території заказника в цьому окрузі значною мірою зближує територію заказника з більш північним Верхньоприп'ятським округом соснових, вільхових, острівних ялинових лісів, заплавної луки, оліго-, мезо- та евтрофних боліт.

Станом на 2008 р., заказник являв собою строкатий комплекс мезо-оліготрофних та мезотрофних лісо-болотних екосистем, безлісих оліготрофних болотних екосистем, тісно пов'язаних між собою гідрологічно та порізаних закинутою і практично недіючою меліоративною мережею, а також невеликих ділянок суходільних лісових екосистем [3].

Станом на 2008 р., у заказнику «Речиця» за площею переважали болотні екосистеми, в т. ч. мезо-оліготрофні та мезотрофні лісо-болотні екосистеми, представлені сосняками сфагновими (*Pineta (sylvestris) sphagnosa*) та березняками сфагновими (*Betuleta (pubescentis) sphagnosa*), сумарна площа котрих у заказнику становила 99,7 га, або 83,1% його площі. Відкриті оліготрофні болотні екосистеми, переважно осоково-сфагнові (*Cariceta sphagnosa*) та ринхоспорово-сфагнові (*Rhynchosporieta sphagnosa*), у заказнику сумарно займали 16,1 га (13,4% його площі). Суходільні ліси у заказнику займали всього 4,2 га (3,5% його площі), розміри їхніх ділянок були незначними — до 1,8 га.

У ландшафтній структурі заказника переважали алювіально-зандрові низовини, плоско-хвилясті, з дерново-підзолистими ґрунтами під борами і суборами в автоморфних ландшафтах, з оліготрофними, мезо-оліготрофними та мезотрофними болотами у гідроморфних ландшафтах.

Четвертинні відклади на суходолах заказника представлені водно-льодовиковими відкладами — пісками, супісками, гравієм, рінню. У гідроморфних умовах боліт четвертинні відклади представлені торфами, гітією, сапропелем верхових та низинних боліт, потужністю від 0,5 до 6 м.

У заказнику на суходолах під сосновими лісами переважали дерново-середньопідзолисті ґрунти, як правило, супіщані та оглеєні. Менші площі займали дернові, переважно глинисто-піщані та супіщані оглеєні ґрунти під сосново-дубовими лісами. У болотних екосистемах переважали торфопо-болотні ґрунти і торфовища різної глибини та ступеня розкладу.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Територія Житомирської та Рівненської обл. зазнали сильної антропогенної трансформації внаслідок незаконного видобутку бурштину. Такі дії ведуть за собою зменшення різноманіття території [4]. Головним питанням є відновлення рослинного покриву на таких територіях [5]. Так, ці питання на землях лісгосподарського підприємства розглянуто в працях Ковалевського С.Б. [6–8] та Суховича В.М. [9].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проведено на території гідрологічного заказника «Речиця» у 2000 р. та 2008 р. — до порушення екосистем, а також у 2022 р. — після порушення екосистем заказника незаконним видобутком бурштину.

Геоботанічні описи проводили у типових фітоценозах або несформованих рослинних угрупованнях за загальноприйнятою методикою [10]. Розмір ділянок описів коливався залежно від складності

рослинного покриву від 100 м² до 1 га [11]. На кожній ділянці за загальноприйнятою методикою виконано повний геоботанічний опис [11], видовий (флористичний) склад рослинних угруповань вивчали за А.А. Корчагіним [12]. Українські назви рослин наведено за [13], латинські — за [14].

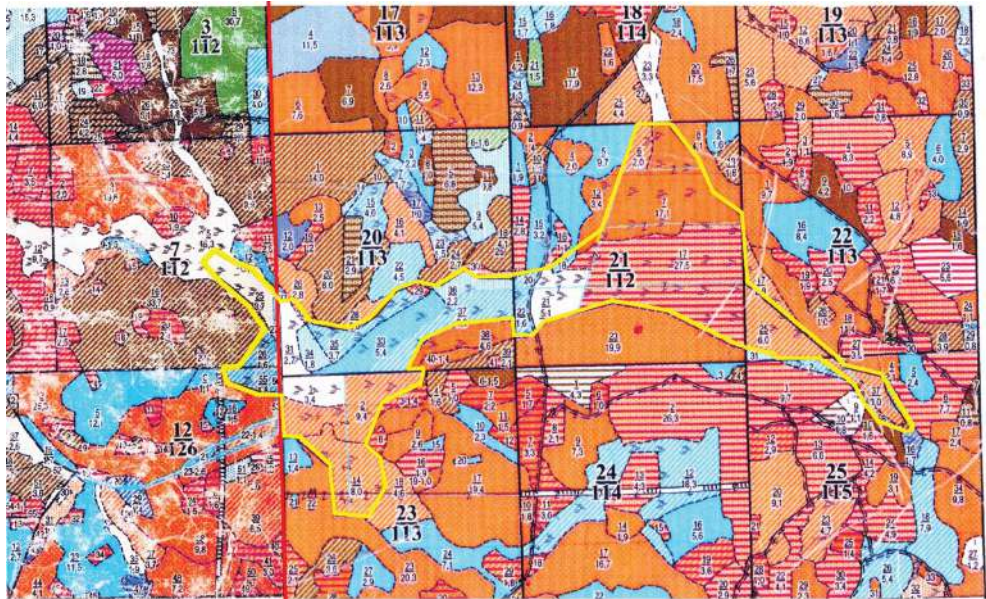
РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У 2008 р. з лісо-болотних оліготрофних екосистем заказника «Речиця» найбільшу цінність мала ділянка, розташована у Поясківському лісництві, кварталі 21, виділі 7, площею 17,1 га, складом деревного ярусу 10Сз, віком 131 рік, середньою висотою — 13 м, середнім діаметром — 18 см, Vа бонітету, повнотою 0,5, у типі лісорослинних умов мокрий бір (А5). У підліску цього фітоценозу лише поодинокі зустрічалася верба сіра (*Salix cinerea* L.), заввишки до 1,3 м, і лише у двох локалітетах — гляціальні релікти — верба лапландська (*Salix lapponum* L.) та верба чорнична (*Salix myrtilloides* L.), занесені до Червоної книги України (2009). Трав'яно-чагарничковий ярус у цьому виділі був досить строкатим, флористично бідним, що загалом є характерним для оліготрофних боліт. Проективне покриття трав'яно-чагарничкового ярусу коливалося від 40 до 95%, до його складу входили типові болотні види такі, як багно болотне (*Ledum palustre* L.), андромеда багатоліста (*Andromeda polifolia* L.), пухівка піхвова (*Eriophorum vaginatum* L.), осока пухнатопада (*Carex lasiocarpa* Ehrh.), осока здута (*Carex rostrata* Stokes), ринхоспора біла (*Rhynchospora alba* L.), образки болотні (*Calla palustris* L.), бобівник трилистий (*Menyanthes trifoliata* L.), перстач болотний (*Potentilla palustris* (L.) Scop.) тощо. На багатьох ділянках домінантом трав'яно-чагарничкового ярусу виступала журавлина болотна (*Oxycoccus palustris* (L.) Pers.). Моховий покрив був суцільним, із проективним покриттям 85–100%, складався як із сфагнових, так і брієвих мохів — залежно від форм мікрорельєфу, який зазвичай був купинним, де знаходилися високі купини (до 70 см заввишки), що чер-

гувалися з обводненими мочажинами. Високі купини формували сфагнум Магеллана (*Sphagnum magellanicum* Brid.), на їхніх верхівках зустрічався зозулин льон стиснений (*Polytrichum strictum* Menzies ex Brid.). Нижчі купини формували сфагн оманливий (*Sphagnum fallax* H. Klinggr.) H. Klinggr.), який також займав і міжкупинні зниження. За домінуванням у цьому таксаційному виділі виділялися такі ценози: сосняк багново-оманливосфагновий (*Pinus sylvestris* + *Ledum palustre* + *Sphagnum fallax*), сосняк пухівково-оманливосфагновий (*Pinus sylvestris* + *Eriophorum vaginatum* + *Sphagnum fallax*), сосняк здутоосоково-оманливосфагновий (*Pinus sylvestris* + *Carex rostrata* + *Sphagnum fallax*), сосняк ринхоспорово-магелланосфагновий (*Pinus sylvestris* + *Rhynchospora alba* + *Sphagnum magellanicum*), сосняк пухівково-журавлиново-магелланосфагновий (*Pinus sylvestris* + *Eriophorum vaginatum* + *Oxycoccus palustris* + *Sphagnum magellanicum*) тощо. Це угруповання внесено до Зеленої книги України (2009) [15], а біотоп є рідкісним у Європі [16]: за Резолюцією 4 Бернської конвенції — X04 Комплекси верхових боліт; G3.E Неморальні заболочені хвойні ліси; за Додатком I Оселищної Директиви — 7110* Активні верхові (оліготрофні) болота; 91D0 Оліготрофні та мезотрофні заболочені ліси.

Подібні лісо-болотні оліготрофні екосистеми також були представлені і на інших ділянках заказника, переважно у Поясківському лісництві. Зокрема, вони зустрічалися у кварталі 20, виділі 33, площею 5,4 га, складом 8Бп2Сз, віком 56 років, середньою висотою 6 м, середнім діаметром 8 см, Vа бонітету, повнотою 0,5, у типі лісорослинних умов мокрий бір (А5); кварталі 21, виділі 6, площею 2,0 га, складом 8Сз2Бп, віком 63 роки, середньою висотою 9 м, середнім діаметром 12 см, V бонітету, повнотою 0,4, у типі лісорослинних умов мокрий бір (А5). План лісонасаджень кварталів представлено на рис. 1.

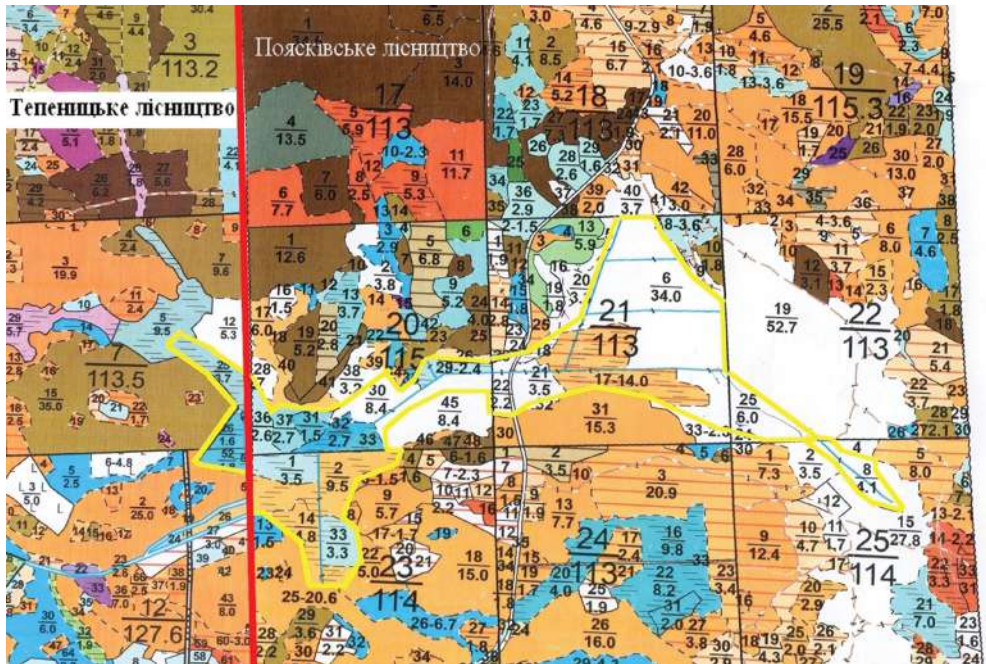
У кварталі 22, виділі 25, зустрічалася ділянка мезотрофного лісового болота, яка мала значну наукову цінність, площею 6,0 га, складом деревного ярусу 5Сз5Бп, ві-



Тепеницьке лісництво

Поясівське лісництво

а



б

Рис. 1. План лісонасаджень кварталів Поясівського та Тепеницького лісництв ДП «Білокоровицький лісгосп», які входили у заказник «Речиця» за даними лісовпорядкувань 2008 р. (а) та 2018 р. (б).

Примітка: Білим кольором показано ділянки з повністю знищеною рослинністю.

ком 43 роки, середньою висотою 4 м, середнім діаметром 10 см, VA бонітету, повнотою 0,5, у типі лісорослинних умов мокрих субір (B5). На цій ділянці за площею переважало соснове сфагнове болото в умовах мокрого субору (B5), порізане каналами лісо-осушувальної мережі.

Осушувальні канали суцільно заросли образками болотними, бобівником трилистим та перстачем болотним, а вздовж берегів — смугою очерету південного (*Phragmites australis* (L.) Trin. ex Steud.) та лепешняку плавучого (*Glyceria fluitans* (L.) R.Br.), за участі осоки пухнатоплодої, осоки здutoї, осоки гостровидної (*Carex acutiformis* Ehrh.), ситника скупченого (*Juncus conglomeratus* L.) та ін. Практично решта площі кварталу 25 являла собою суцільний масив флористично бідних та ценотично простих сосняків очеретяно-сфагнових (*Pinetum phragmitoso (australis) sphagnosum*), типових для північного заходу Житомирського Полісся. Деревостан сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) в них, як правило, розріджений, з зімкнутістю 0,3–0,5. У підліску зустрічалися окремі куці верби сірої. Трав'яно-чагарничковий ярус із загальним проєктивним покриттям 40–60%, був триярусним. I ярус, заввишки 140–170 см, утворював очерет південний. II ярус, заввишки 30–60 см, формували осока пухнатоплода, бобівник трилистий, кизляк китицецвітій (*Naumburgia thyrsoiflora* L.), перстач болотний, фіалка багнова (*Viola uliginosa* Besser), теліптерис болотний (*Thelypteris palustris* Schott), а III ярус, заввишки 5–10 см, — журавлина болотна. Моховий ярус був суцільним, з проєктивним покриттям 85–95%, він складався переважно зі сфагну оманливого з домішкою сфагну Магеллана.

Відкриті, безлісі оліготрофні болота у заказнику «Речиця» мали значну наукову цінність. Найбільші їхні масиви розташовувалися у Поясківському лісництві: кварталі 20, виділі 31 (2,7 га); кварталі 21, виділі 21 (5,1 га); кварталі 23, виділі 1 (3,4 га). Спільною їх рисою були: досить бідний видовий склад фітоценозів, проста ценотична будова, наявність гляціальних

реліктів. Проєктивне покриття трав'яно-чагарничкового ярусу коливалося у межах 35–70%. До нього входили переважно бореальні болотні види: багно болотне, андромеда багатоліста, журавлина болотна, пухівка піхвова, осока пухнатоплода, ринхоспора біла, бобівник трилистий, перстач болотний, вербозілля звичайне (*Lysimachia vulgaris* L.), плакун верболистий (*Lythrum salicaria* L.), смовдь болотна (*Peucedanum palustre* L.) тощо. Моховий покрив був суцільним, з проєктивним покриттям 85–100%, складався переважно зі сфагну Магеллана, меншу участь у створенні мохового ярусу брав сфагн оманливий. У кварталі 21, виділі 21 було зафіксовано зростання гляціальних реліктів — верби лапландської та верби чорничної, а у кварталі 23, виділі 1 — шейхцерії болотної (*Scheuchzeria palustris* L.), — видів, занесених до Червоної книги України (2009) [17]. Цей біотоп є рідкісним у Європі [16]: за Резолюцією 4 Бернської конвенції — X04 Комплекси верхових боліт; за Додатком I Оселищної Директиви — 7110* Активні верхові (оліготрофні) болота.

На оліготрофних безлісіх болотах переважали фітоценози осоки здutoї зі сфагнуном Магеллана (*Carex rostrata* + *Sphagnum magellanicum*), ринхоспори білої зі сфагнуном Магеллана (*Rhynchospora alba* + *Sphagnum magellanicum*), пухівки піхвової з журавлиною болотною та сфагнуном Магеллана (*Eriophorum vaginatum* + *Oxycoccus palustris* + *Sphagnum magellanicum*).

Суходільні ліси у заказнику «Речиця» були представлені на невеликих площах. У їхньому складі найбільшу наукову та природоохоронну цінність мали дубово-соснові та соснові ліси кварталу 25, виділу 8, площею 0,8 га, складом 5Дз3Сз1Ос1Бп, віком 110 років, середньою висотою 24 м, середнім діаметром 36 см, III бонітету, у типі лісорослинних умов вологий сугруд (С3). У негустому підліску, з зімкнутістю до 0,2, зустрічалися такі види, як крушина ламка (*Frangula alnus* (L.) Mill.), ліщина звичайна (*Corylus avellana* L.) та горобина звичайна (*Sorbus aucuparia* L.). Трав'яно-чагарничковий ярус був строкатим, у ньому

виділялися кілька варіантів — конвалієво-різнотравний та орляково-конвалієво-різнотравний, в яких флористичий склад налічував 40–50 видів судинних рослин на 625 м². Вони належали до флористично найбагатших лісових асоціацій регіону досліджень — *Potentillo albae-Quercetum petraeae* Libbert 1933 та *Serratulo-Pinetum* (Matuszkiewich 1981) J. Matuszkiewich 1988.

Саме на згаданих ділянках зростала значна кількість лікарських видів рослин — конвалія звичайна (*Convallaria majalis* L.), материнка звичайна (*Origanum vulgare* L.), перстач білий (*Potentilla alba* L.), перстач прямостоячий (*Potentilla erecta* (L.) Raeusch.), наперстянка великоквіткова (*Digitalis grandiflora* (L.) Mill.), буквиця лікарська (*Betonica officinalis* L.), суниця лісова (*Fragaria vesca* L.), чорниця (*Vaccinium myrtillus* L.), брусниця (*Vaccinium vitis-idaea* L.) тощо. У згаданих лісових фітоценозах знайдено чотири види, занесені до Червоної книги України — любку дволисту (*Platanthera bifolia* (L.) Rich.), гніздівку звичайну (*Neottia nidus-avis* (L.) Rich.), коручку морозниковидну (*Epipactis helleborine* (L.) Crantz), лілію лісову (*Lilium martagon* L.) [17; 18].

Крім того, у заказнику були наявні напівгідроморфні ліси, перехідні від гідроморфних болотних до автоморфних лісових ландшафтів — у Поясківському лісництві, кварталі 21, виділі 18. У їхньому складі переважали середньовікові 45-річні сосново-березові ліси довгомошні (*Pinetum polytrichosum (communis)*) в умовах сирого субору (В4). Негустий підлісок, із зімкнутістю до 0,2–0,3, утворювали такі види, як крушина ламка, горобина звичайна, верба сіра. Трав'яно-чагарничковий ярус був негустим, із проєктивним покриттям до 5–10%, складався з бореальних видів — чорниці (*Vaccinium myrtillus* L.), брусниці (*Vaccinium vitis-idaea* L.), перстачу прямостоячого (*Potentilla erecta* (L.) Raeusch.), ситника розлогого (*Juncus effusus* L.), плауна колючого (*Lycopodium annotinum* L.), занесеного до Червоної книги України [17; 18].

Тваринний світ заказника «Речиця» був досить типовим для півночі Житомирського Полісся. Фоновими, звичайними видами на його території були козуля європейська (*Capreolus capreolus* Linnaeus, 1758), вовк (*Canis lupus* Linnaeus, 1758), бобер європейський (*Castor fiber* Linnaeus, 1758), ондатра (*Ondatra zibethicus* Linnaeus, 1766). На території заказника було зафіксовано види тварин, занесених до Червоної книги України такі, як лось (*Alces alces* Linnaeus, 1758), зміїд (*Circaetus gallicus* Gmelin, 1788), тетерук євразійський (*Tetrao tetrix* Linnaeus, 1758), глушець (*Tetrao urogallus* Linnaeus, 1758), журавель сірий (*Grus grus* Linnaeus, 1758) тощо [19; 20].

У гідрологічному заказнику «Речиця» пріоритетами охорони були види рослин, занесені до Червоної книги України (2009) [17; 18]: верба лапландська (*Salix lapponum* L.), верба чорнична (*Salix myrtilloides* L.) та шейхцерія болотна (*Scheuchzeria palustris* L.) — гляціальні релікти; у напівгідроморфних лісах — плаун колючий (*Lycopodium annotinum* L.), а у суходільних автоморфних лісах — види рослин, занесені до Червоної книги України — любка дволиста (*Platanthera bifolia* (L.) Rich.), гніздівка звичайна (*Neottia nidus-avis* (L.) Rich.), коручка морозниковидна (*Epipactis helleborine* (L.) Crantz), лілія лісова (*Lilium martagon* L.) [17; 18]. Пріоритетом охорони також були популяції рідкісних видів тварин, занесених до Червоної книги України (2009) таких, як лось (*Alces alces* Linnaeus, 1758), зміїд (*Circaetus gallicus* Gmelin, 1788), тетерук євразійський (*Tetrao tetrix* Linnaeus, 1758), глушець (*Tetrao urogallus* Linnaeus, 1758), журавель сірий (*Grus grus* Linnaeus, 1758) [19; 20].

Варто особливо підкреслити, що до 2014 р. екосистеми гідрологічного заказника «Речиця» знаходилися у цілком задовільному стані, а частина з них, наприклад, мезо-оліготрофні старовікові 130-річні сосново-сфагнові болота взагалі були етапними в Українському Поліссі.

За даними ДП «Білокорочицький лісгосп» та Управління екології та природних ресурсів Житомирської ОДА, еколо-

гічна ситуація у гідрологічному заказнику «Речиця» стала стрімко погіршуватись з вересня 2014 р., що пов'язано з масовим незаконним видобутком бурштину як на території заказника, так і на оточуючих його територіях.

Починаючи з вересня 2014 р. і закінчуючи 2017 р., на згаданих територіях тривав масовий незаконний видобуток бурштину. І лише у 2017 р. силами Національної гвардії України, МВС України, прикордонників та лісової охорони цей видобуток був припинений. Однак за 4 роки незаконного видобутку територія заказника «Речиця» зазнала кардинальних екологічних змін порівняно з періодом до 2014 р. Згаданий видобуток спочатку проводили вручну, копаючи ями розміром $3 \times 3 \times 4$ м, а згодом —

потужними помпами, вимиваючи піщані відклади з глибини 15–20 м.

Наразі станом на 20.06.2022 р., площа сильно пошкоджених земель на території заказника дорівнює 97,0 га, або 80,8 % його площі (табл.).

З даних табл. випливає, що на значній території заказника зміни ландшафтів і природної рослинності були катастрофічними, що призвело до повної загибелі природних екосистем — коли деревостан і підлісок були самовільно зрізані копачами бурштину, а трав'яно-чагарничковий та моховий яруси захоронені під товстим шаром породи, як правило, викопного воднольодовикового піску, піднятого помпами з глибини до 20 м. Таких ділянок у заказнику «Речиця» нині нараховується 8,

Розташування, характер пошкодження та площа ділянок гідрологічного заказника «Речиця», на які негативний вплив мав незаконний видобуток бурштину (за даними базового лісовпорядкування 2018 р.)

| Лісництво | Квартал | Виділ | Площа, га |
|---|---------|-------|-------------|
| <i>Катастрофічні зміни — повне знищення природних екосистем</i> | | | |
| Поясківське | 20 | 30 | 8,4 |
| | 21 | 6 | 34,0 |
| | 21 | 18 | 0,7 |
| | 21 | 21 | 3,5 |
| | 21 | 22 | 2,2 |
| | 22 | 25 | 6,0 |
| | 25 | 8 | 4,1 |
| | 25 | 37 | 0,3 |
| Всього | | | 59,2 |
| <i>Поступові зміни — сильний вплив на природні екосистеми з боку оточуючих порушених кварталів, значне підсушення, поступова деградація рослинного покриву</i> | | | |
| Поясківське | 20 | 29 | 2,4 |
| | 20 | 31 | 1,5 |
| | 20 | 32 | 2,7 |
| | 20 | 33 | 1,4 |
| | 20 | 36 | 2,6 |
| | 21 | 17 | 14,0 |
| | 23 | 2 | 9,5 |
| Тепеницьке | 7 | 25 | 3,7 |
| Всього | | | 37,8 |
| РАЗОМ | | | 97,0 |

сумарною площею 59,2 га, що становить 49,3% загальної площі заказника. Слід зазначити, що впродовж першого року після незаконного видобутку бурштину такі площі являли собою найбільшій «бедленд», де збереглися поодинокі особини окремих видів природної флори — очерету південного, куничника наземного (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), а нечисленні синантропні види були випадково занесені копачами — лобода біла (*Chenopodium album* L.), подорожник великий (*Plantago major* L.), амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia* L.) тощо.

Слід відзначити, що незаконний видобуток бурштину тривав у заказнику близько 4 років поспіль. За цей період на ділянках, де рослинний покрив було повністю знищено, почався процес первинного сингенезу — демутації (відновлення) рослинного покриву. Цей процес характеризувався значною варіабельністю та швидкістю, що визначалося переважно формами мікрорельєфу, сформованими у результаті видобутку бурштину (нагорнуті горби та гряди до 3–4 м заввишки; плоскі вирівняні ділянки, засипані викопним піском; неглибокі водойми діаметром 10–20 м; глибокі дренажні обводнені канали, завширшки до 4 м та завглибки до 3 м та ін.), а також ступенем осушення та глибиною залягання рівня ґрунтових вод.

Зокрема, на плоских вирівняних ділянках, засипаних викопним водно-льодовиковим піском, переважаючим напрямом динаміки рослинності є формування невеликих куртин насінневого підросту берези повислої (*Betula pendula* Roth) та берези пухнастої (*Betula pubescens* Ehrh.), які чергуються з практично моновидовими заростями очерету південного, пригніченими бідними та посушливими умовами місцезростань. У цих заростях проективне покриття очерету коливається у межах 25–50 %, а висота — 120–140 см. Беручи до уваги 4-річний період порушення території, найстаршим куртинам беріз нині 5–7 років, їхня висота дорівнює 4–6 м, а діаметр — 6–8 см. На таких найстарших ділянках після видобутку бурштину дему-

тація рослинного покриву пішла далі. Для них є характерним мозаїчне розміщення видів, часто — відсутність домінування, строкатий видовий склад рослин, який включає як лісові світлолюбні види, так і лучні, болотні та синантропні види. Типові ділянки з дещо ускладненим канавами мікрорельєфом, представлені у Поясківському лісництві, кварталі 21, виділі 21, де поруч з куртинами беріз 5–6-річного віку зустрічаються поодинокі молоді кущі крушини ламкої та верби сірої, а у строкатому, несформованому трав'яному покриві типовими видами є: очерет південний, куничник наземний, польовиця виноградникова (*Agrostis vinealis* Schreb.), любочки шорсткі (*Leontodon hispidus* L.), осока шершава (*Carex hirta* L.), осока чорна (*Carex nigra* (L.) Reichard), ситник розлогий, ситник скупчений, звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.), нечуйвітер зонтичний (*Hieracium umbellatum* L.), лобода біла та ін. Іноді в окремих обводнених заглибленнях зустрічаються куртини ситника бульбистого (*Juncus bulbosus* L.), занесеного до Червоної книги України [17; 18]. Такі антропогенно порушені біотопи з піщаними ґрунтами на стадії первинного сингенезу рослинності є для нього дуже сприятливими, що є типовим у регіонах як Західного, так і Житомирського Полісся [21].

У найбільшому виділі заказника «Речиця», знищеному незаконним видобутком бурштину, — Поясківському лісництві, кварталі 21, виділі 6 (за даними лісовпорядкування 2018 р.), де видобуток в основному було припинено близько 5-ти років тому, нині спостерігається демутація рослинного покриву, аналогічна описаній вище. Однак у виділі спостерігаються всі антропогенно створені форми мікрорельєфу — від мілководних водойм до видовжених піщаних гряд заввишки 2–4 м, які мозаїчно чергуються на території виділу, роблячи його майже непрохідним. Для території виділу є характерними куртини беріз, заввишки 3–5 м, поодинокі деревця сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) та осики (*Populus tremula* L.), поодинокі кущі вер-

би сірої та верби вушкатої (*Salix aurita* L.), мозаїчний несформований трав'яний покрив. На знижених ділянках до його складу входять болотні види, такі як ситник скупчений, у куртинах якого площею 15–20 м² проективне покриття сягає 50–70%, осока пухнатоїплода, осока попелясто-сіра (*Carex cinerea* Pollich), ситник розчепірений (*Juncus squarrosus* L.), ситник членистий (*Juncus articulatus* L.), ситник стиснутий (*Juncus compressus* Jacq.), вербозілля звичайне, плакун верболистий (*Lythrum salicaria* L.), рогіз широколистий (*Typha latifolia* L.) та ін. Поруч на підвищених, сухіших ділянках зустрічаються куртини лісових світлолюбних видів, зокрема, вересу звичайного (*Calluna vulgaris* (L.) Hull), кунічника наземного, молінії голубої (*Molinia caerulea* (L.) Moench), польовиці виноградникової, нечуйвітру зонтичного, а також куртини небезпечного адвентивного інвазійного виду північноамериканського походження — еректитеса нечуйвітрового (*Erechtites hieracifolia* (L.) Raf. ex DC.). Також для цієї ділянки характерним є формування ділянок, зарослих мохами, де на підвищених елементах мікрорельєфу зустрічаються зозулин льон волосконосний (*Polytrichum piliferum* Hedw.) та зозулин льон ялівцевий (*Polytrichum juniperinum* Hedw.), а на знижених — зозулин льон звичайний (*Polytrichum commune* L.).

Порівняння планів лісонасаджень заказника «Речиця» 2008 р. та 2018 р. (див. рис. 1) дає можливість дійти висновку, що незаконним видобутком бурштину було повністю знищено один з головних пріоритетів охорони заказника — лісо-болотну оліготрофну екосистему, віком 131 рік (Зелена книга України, яка розташовувалася у Поясківському лісництві, кварталі 21, виділі 7 площею 17,1 га (за даними лісовпорядкування 2008 р.), нині це квартал 21, виділ 6 — найбільш порушена ділянка заказника. Відповідно, загинули видові пріоритети охорони — гляціальні реліктові види рослин — верба лапландська та верба чорнична.

Відповідне порівняння даних лісовпорядкування 2008 р. та 2018 р. також довело,

що незаконним видобутком бурштину було повністю знищено у заказнику найціннішу, найбільшу ділянку безлісного оліготрофного болота — у Поясківському лісництві, кварталі 21, виділі 21 (5,1 га) (за даними 2008 р.), нині це квартал 21, виділі 21–22 (за даними 2018 р.). Було знищено видові пріоритети охорони — гляціальні реліктові види рослин — вербу лапландську, вербу чорничну та шейхцерію болотну.

Повністю знищено ще один пріоритет охорони — складний сосново-дубовий ліс, віком 110 років, — у Поясківському лісництві, кварталі 25, виділі 8 (дані 2008 р.) з флористично найбагатшими лісовими асоціаціями регіону — *Potentillo albae-Quercetum petraeae* Libbert 1933 та *Serratulopinetum* (Matuszkiewicz 1981) J. Matuszkiewicz 1988. Нині це квартал 25, виділ 8, де незаконним видобутком бурштину суцільно знищено лісову екосистему, та, відповідно, загинули видові пріоритети охорони, занесені до Червоної книги України, — любка дволиста (*Platanthera bifolia* (L.) Rich.), гніздівка звичайна (*Neottia nidus-avis* (L.) Rich.), коручка морозникової (*Epipactis helleborine* (L.) Crantz), лілія лісова (*Lilium martagon* L.) [17; 18].

Повністю знищено ділянку напівгідроморфних сосново-березових лісів довгомошних (*Pinetum polytrichosum* (*communis*)) в умовах сирого субору (В4) у Поясківському лісництві, кварталі 21, виділі 18 (дані 2008 р.), нині це — квартал 21, виділ 18 (дані 2018 р.). Загинув пріоритет охорони плаун колючий (*Lycopodium annotinum* L.), занесений до Червоної книги України [17; 18].

Пряме знищення більшої частки природних екосистем призвело до зникнення місць гніздування та перебування рідкісних видів тварин у заказнику «Речиця», зокрема тих, що занесені до Червоної книги України, — змієїда (*Circaetus gallicus* Gmelin, 1788), тетерука євразійського (*Tetrao tetrax* Linnaeus, 1758), глушця (*Tetrao urogallus* Linnaeus, 1758), журавля сірого (*Grus grus* Linnaeus, 1758) [19; 20].

На 8-ми ділянках, які межують із сильно порушеними ділянками, нині проявляється

сильний вплив на природні екосистеми з боку навколишніх порушених кварталів, зумовлений негативними змінами загального гідрологічного режиму території — як правило, значним підсушенням, результатом чого є деградація природного рослинного покриву. Сумарна площа таких ділянок у заказнику «Речиця» дорівнює 37,8 га, або 31,5% площі заказника (див. табл.).

Ці поступові зміни проявляються, насамперед, у втраті екологічної стійкості екосистем, випаданні на першому етапі найбільш вологолюбних видів, розрідженні та поступовому відмиранні крон деревостану, зменшенні видового та ценогічного різноманіття флори і фауни.

Типовим прикладом деградації рослинного покриву внаслідок підсушення є ділянка лісу у Поясківському лісництві кварталі 21, виділі 17 (14,0 га). При незаконному видобутку бурштину ширина цього виділу зменшилася майже вдвічі, він оточений із трьох боків повністю знищеними ділянками кварталу 21 — виділами 6, 18, 21. В ньому спостерігається значне підсушення. Вік сосни звичайної дорівнював 44 роки, склад деревостану — 6Сз4Бп, середня висота сосни — 12 м, середній діаметр — 14 см, бонітет IV, тип лісорослинних умов — сирий субір осушений (В4ДСО). У кронах сосни спостерігається пожовтіння і розрідження хвої, її передчасне опадання, береза повисла має сухі верхівки. Підлісок розріджений, всихає, особливо по узлісся, складається з верби сірої, крушини ламкої, горобини звичайної. Трав'яно-чагарничковий ярус істотно зменшив проективне покриття — від 85% (2008 р.) до 60% (2022 р.). Його перший ярус створює очерет південний з проективним покриттям до 40%, пригнічений посушливими умовами, заввишки 1,3–1,4 м. II ярус складається з ситника скупченого (30–40%), який замінює осоки, залишки котрих ще зустрічаються у згаданому ярусі — осоку пухирчасту (*Carex vesicaria* L.), осоку їжакову (*Carex echinata* Murray). Решта болотних видів зі складу ценозу випала, в т. ч. повністю — моховий ярус, який

складався зі сфагнових мохів. За нашою експертною оцінкою, видове різноманіття ценозу зменшилося близько у 4 рази.

Виражена динаміка рослинності внаслідок підсушення також спостерігається у Поясківському лісництві, кварталі 23, виділі 2, площею 9,5 га, який межує з північного сходу з повністю знищеною великою ділянкою у кварталі 23, виділі 45. Деревостан складом 8Сз2Бп, віком 56 років, мав середню висоту 14 м, середній діаметр 18 см, бонітет III, тип лісорослинних умов — сирий субір (В4). До 2014 р. на цій ділянці був представлений березово-сосновий ліс пухівково-журавлиново-сумнівно-сфагновий (*Pinus sylvestris* + *Betula pendula* + *Eriophorum vaginatum* + *Oxycoccus palustris* + *Sphagnum fallax*). Нині у кронах сосни виявлено пожовтіння хвої внаслідок підсушення. Дещо збільшилася зімкнутість підліску — з 0,1 до 0,4 — з верби сірої, з домішкою крушини ламкої, що є досить характерним для підсушених ділянок. У трав'яно-чагарничковому ярусі зміни проявилися у зменшенні загального проективного покриття та особливо — проективного покриття співдомінант — журавлини болотної та пухівки піхвової. Остання формувала купини, які нині частково всохли разом із журавлиною, яка на них зростала. Натомість збільшилося проективне покриття багна болотного (до 30–50%) та чорниці (до 10%), які посіли місце журавлини. Моховий ярус, який складався зі сфагнових мохів, нині на 50% площі представлений брієвими мохами — плеврозієм Шребера (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.), зозулиним льоном звичайним та ін. Таким чином, на цій ділянці нині представлений березово-сосновий ліс вербово-крушиново-чорнично-плеврозієвий (*Pinus sylvestris* + *Betula pendula* + *Salix cinerea* + *Frangula alnus* + *Vaccinium myrtillus* + *Pleurozium schreberi*), значно менш цінний, ніж вихідний фітоценоз.

Динаміка рослинності також добре помітна у підсушених березових лісах заказника «Речиця». Зокрема, типова ділянка заболочених березняків представлена у Поясківському лісництві, кварталі 20, виді-

лі 33, площею 1,4 га. Вона з півночі та сходу межує з суцільно знищеними лісовими екосистемами (виділи 30, 45). На згаданій ділянці деревостан має склад 9Бп1Сз, вік 56 років, середню висоту 15 м, середній діаметр 16 см, IV бонітет, тип лісорослинних умов – мокрий бір осушений (А5С0). До підсушення на цій ділянці був представлений березняк пухнатоплодоосоково-сумнівносфагновий (*Betula pendula* + *Carex lasiocarpa* + *Sphagnum fallax*). Нині деревостан залишився майже без змін, однак у підліску збільшилася участь багна болотного (до 30% проективного покриття), а домінантом стала молінія голуба, проективне покриття якої нині збільшилося до 40–50%. Таким чином, у результаті підсушення цієї ділянки сформувався малоцінний ценоз заболоченого березового лісу багново-молінієво-сумнівносфагнового (*Betula pendula* + *Ledum palustre* + *Molinia caerulea* + *Sphagnum fallax*). У подальшому також буде відбуватися динаміка рослинності ділянки з переходом у тип лісорослинних умов сирий субір (В4).

Західна частина заказника «Речиця» нині є найменш порушеною незаконним видобутком бурштину. Підсушення в цій частині майже не відчувається. Слід підкреслити, що у рослинному покриві цих відносно непорушених ділянок за площею переважають малоцінні березняки, значною мірою, заболочені. Вони представлені у Поясківському лісництві, кварталі 20, виділах 32, 36; кварталі 23, виділі 1; у Тепеницькому лісництві, кварталі 7, виділах 25–26; кварталі 12, виділі 52.

Типова ділянка заболочених березняків представлена у Тепеницькому лісництві, кварталі 7, виділі 26, площею 1,6 га. Деревостан мав склад 8Бп1Дз1Влч, вік 55 років, береза повисла мала середню висоту 19 м, середній діаметр 20 см, II бонітет, тип лісорослинних умов – сирий субір (В4). Підлісок характеризувався зімкнутістю 0,3–0,4, складався з крушини ламкої (до 0,3), горобини звичайної та верби сірої (до 0,1). Трав'яно-чагарничковий ярус був строка-тим, мозаїчного розміщення, з загальним проективним покриттям 40–45%. У I яру-

сі домінував очерет південний (25–30%), у II ярусі домінувала чорниця (10–15%), з високою постійністю зустрічалися брусниця, одинарник європейський (*Trientalis europaea* L.), вербозілля звичайне, щитник шартрський (*Dryopteris carthusiana* (Vill.) Н.Р. Fuchs) (місцями до 20% проективного покриття). Місцями також були представлені ділянки з домінуванням молінії голубої та осоки пухнатоплодої зі сфагновими мохами. Проективне покриття мохового ярусу дорівнювало 40–50%. Він складався зі сфагну болотного (*Sphagnum palustre* L.) (до 40%) та зозулиного льону звичайного (до 10%). Види Червоної книги України на цій та подібних ділянках заболочених березових лісів у заказнику «Речиця» наразі відсутні [17; 18].

Після незаконного видобутку бурштину ландшафти були кардинально деградовані, фітострома (рослинний покрив) майже знищена (рис. 2).

Заболочені, відносно слабо трансформовані сосняки представлені у заказнику «Речиця» всього однією ділянкою – у Поясківському лісництві, кварталі 23, виділі 14 (4,8 га). На цій ділянці переважає заболочений сосняк очеретяно-осоково-сумнівносфагновий (*Pinus sylvestris* + *Phragmites australis* + *Carex vesicaria* + *Sphagnum fallax*), властивий півночі Житомирського Полісся, типового, досить бідного флористичного складу та простої ценотичної будови. Види Червоної книги України в ньому відсутні [17; 18].

ВИСНОВКИ

Упродовж 1984–2014 рр. до антропогенного порушення природних екосистем незаконним видобутком бурштину гідрологічний заказник «Речиця» знаходився у цілком задовільному екологічному стані.

На його території найбільшу цінність мали мезо-оліготрофні старовікові, 130-річні соснові сфагнові болота (унікальні еталонні ділянки), безлісі оліготрофні осоково-сфагнові болота, ділянки старовікових, 110-річних суходільних сосново-дубових ацидофільних, флористично багатих лісів.



Рис. 2. Трансформовані ландшафти заказника «Речиця» (фото О.О. Орлов)

До антропогенного порушення природних екосистем заказника на його території пріоритетами охорони на видовому рівні були 8 видів судинних рослин, занесених до Червоної книги України, а також 5 видів тварин, занесених до Червоної книги України. На ценотичному рівні охоронялися рідкісні ценози лісо-болотних мезо-оліготрофних та оліготрофних боліт заказника, занесені до Зеленої книги України.

У результаті незаконного видобутку бурштину на території гідрологічного заказника «Речиця» впродовж 4 років (2014–2017 рр.) було пошкоджено 97,0 га, або 80,8% його площі, в т. ч. на площі 59,2 га (49,3% площі заказника) відбулися катастрофічні зміни — повне знищення природних екосистем; на 37,8 га, або 31,5% площі заказника відбуваються поступові негативні зміни — проявляється сильний вплив на природні екосистеми з боку навколишніх кварталів, порушених видобутком бурштину.

У результаті незаконного видобутку бурштину на території гідрологічного заказника «Речиця» було втрачено всі пріо-

ритети охорони як на видовому, так і ценотичному рівнях.

Залишки лісо-болотних та болотних екосистем у заказнику «Речиця» є малоцінними, представлені переважно заболоченими березовими фітоценозами, рідше — заболоченими сосняками, віком 15–50 років типового флористичного складу та ценотичної будови.

Оскільки з 120 га заказника сильно пошкодженими є 97,0 га, або 80,8 % його площі, втрачено всі пріоритети охорони, а залишки природної рослинності не мають наукової цінності, доцільно скасувати природоохоронний режим цієї території, виключивши гідрологічний заказник місцевого значення «Речиця» зі складу природно-заповідного фонду України згідно з чинними нормативно-правовими актами України, за погодженням з Міндовкілля України.

На території колишнього заказника, порушеної незаконним видобутком бурштину, необхідно провести інженерну рекультивацию, після чого — біологічну, а саме — посадку березово-соснових культур.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фізико-географічне районування. Національний атлас України. Київ: Інтелектуальні Системи ГЕО, 2007. С. 223.
2. Геоботанічне районування. Національний атлас України. Київ: Інтелектуальні Системи ГЕО, 2007. С. 197–198.
3. Орлов О.О., Сіренський С.П., Якушенко Д.М. та ін. Природно-заповідний фонд Житомирської області: довідник / за ред. О.О. Орлова. Житомир–Новоград-Волинський: Вид-во: НОВОГрад, 2015. 404 с.
4. Чайка М.М., Лісовий М.М., Мухаммд М.З. Основні екологічні чинники збіднення природного біорізноманіття України. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 3. С. 66–69. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2018.148320>.
5. Генік Я.В. Ревіталізація антропогенно порушених екосистем: методологічні та технологічні особливості. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016. № 26 (8). С. 180–185. DOI: <https://doi.org/10.15421/40260828>.
6. Ковалевський С.Б., Марчук Ю.М., Маєвський К.В. та ін. Комплексний підхід до реабілітації лісових земель Житомирського Полісся, пошкоджених непромисловим видобутком бурштину. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. № 31 (4). С. 43–47. DOI: <https://doi.org/10.36930/40310406>.
7. Ковалевський С.Б., Ковалевський С.С., Долід О.Л. Стан лісових ділянок ДП «Сарненське ЛГ» порушених внаслідок незаконного видобутку бурштину. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. № 29 (7). С. 96–100. DOI: <https://doi.org/10.15421/40290719>.
8. Ковальський С.Б., Марчук Ю.М., Маєвський К.В., Курдюк О.М. Масштаби та наслідки незаконного видобутку бурштину на землях Житомирського ОУЛМГ. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. № 27 (10). С. 69–72. DOI: <https://doi.org/10.15421/40271011>.
9. Сухович В.М., Копій Л.І., Каганяк Ю.Й. та ін. Варіанти формування соснових деревостанів на порушених видобуванням бурштину землях. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. № 31(5). С. 17–21. DOI: <https://doi.org/10.36930/40310502>.
10. Лавренко Е.М. Основные закономерности растительных сообществ и пути их изучения. Полевая геоботаника / под ред. Е.М. Лавренко и А.А. Корчагина. Москва–Ленинград: Наука, 1959. Т. 1. С. 13–70.
11. Юнатов А.А. Заложение экологических профи-

- лей и пробных площадей. Полевая геоботаника / под ред. Е.М. Лавренко и А.А. Корчагина. Москва–Ленинград: Наука, Ленинградское отд., 1964. Т. 3. С. 9–35.
12. Корчагин А.А. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения. Полевая геоботаника / под ред. Е.М. Лавренко и А.А. Корчагина. Москва–Ленинград: Наука, 1964. Т. 3. С. 39–59.
 13. Определитель высших растений Украины / под ред. Доброчаева Д.Н., Котов М.И., Прокудин Ю.Н. и др. Киев: Фитосоцицентр, 1999. 548 с.
 14. Mosyakin S.L., Fedoronchuk M.M. Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist. Kiev, 1999. 345 p.
 15. Зелена книга України / за ред. Я.П. Дідуха. Київ: Альгерпрес, 2009. 448 с.
 16. Національний каталог біотопів України / за ред. А.А. Куземко, Я.П. Дідуха, В.А. Онищенко та ін. Київ: ФОП Клименко Ю.А., 2018. 442 с.
 17. Червона книга України. Рослинний світ/ за ред. Я.П. Дідуха. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 912 с.
 18. Перелік видів рослин та грибів, що заносяться до Червоної книги України (рослинний світ): наказ від 15.02.2021 р. № 111. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України*.
 19. Червона книга України. Тваринний світ/ за ред. І.А. Акімова. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 600 с.
 20. Перелік видів тварин, що заносяться до Червоної книги України (тваринний світ): наказ від 19.01.2021 р. № 29. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України*.
 21. Орлов О.О. Рослини Червоної книги України на ділянках в Українському Поліссі, де відбувається сингенез після відкритої розробки корисних копалин. *Біологічні дослідження–2017*: Зб. наук. праць VIII Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю (м. Житомир, 14–16 берез. 2017 р.). Житомир: ПП «Рута», 2017. С. 392–393.

REFERENCES

1. Intelektualni Systemy HEO. (2007). *Fizyko-geohrafichne raionuvannia. Natsionalnyi atlas Ukrainy [Physico-geographical zoning. National atlas of Ukraine]*. Kyiv [in Ukrainian].
2. Intelektualni Systemy HEO (2007). *Heobotanichne raionuvannia. Natsionalnyi atlas Ukrainy [Geobotanical zoning. National atlas of Ukraine]*. Kyiv [in Ukrainian].
3. Orlov, O.O. (Ed.), Sirenkyi, S.P., Yakushenko, D.M. et al. (2015). *Pryrodno-zapovidnyi fond Zhytomyrskoi oblasti. Dovidnyk [Nature reserve fund of Zhytomyr region. Directory]*. Zhytomyr–Novohrad-Volynskyy [in Ukrainian].
4. Chaika, V.M., Lisovyi, M.M., Mukhammed, M.Z. (2018). Osnovni ekolohichni chynnyky zbidnennia pryrodnoho bioriznomanittia Ukrainy. *Ahroekolohichnyi zhurnal – Agroecological journal*, 3, 66–69. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2018.148320> [in Ukrainian].
5. Henyk, Ya.V. (2016). Revitalizatsiia antropohenno porushenykh ekosystem: metodolohichni ta tekhnolohichni osoblyvosti [Revitalization of anthropogenically disturbed ecosystems: methodological and technological features]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific bulletin of NLTU of Ukraine*, 26 (8), 180–185. DOI: <https://doi.org/10.15421/40260828> [in Ukrainian].
6. Kovalevskii, S.B., Marchuk, Yu.M., Maevskii, K.V. et al. (2021). Kompleksnyi pidkhid do reabilitatsii lisovykh zemel Zhytomyrskoho Polissia, poshkodzhenykh nepromyslovym vydobutkom burshtynu [A comprehensive approach to the rehabilitation of forest lands of Zhytomyr Polissya damaged by non-industrial amber production]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific bulletin of NLTU of Ukraine*, 31 (4), 43–47. DOI: <https://doi.org/10.36930/40310406> [in Ukrainian].
7. Kovalevskii, S.B., Kovalevskii, S.S. & Dolid, A.L. (2019). Stan lisovykh dilianok DP «Sarnenske LH», porushenykh vnaslidok nezakonnoho vydobutku burshtynu [Condition of forest plots of Sarnenskiy Forestry Enterprise SE violated as a result of illegal mining of amber]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific bulletin of NLTU of Ukraine*, 29 (7), 96–100. DOI: <https://doi.org/10.15421/40290719> [in Ukrainian].
8. Kovalevsky, S.B., Marchuk, Yu.M., Mayevsky, K.V. & Kurdyuk, O.M. (2017). Mashtaby ta naslidky nezakonnoho vydobutku burshtynu na zemliakh Zhytomyrskoho OULMH [The Scope and Consequences of Illegal Amber Extraction on Lands of Zhytomyr RDFH]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific bulletin of NLTU of Ukraine*, 27 (10), 69–72. DOI: <https://doi.org/10.15421/40271011> [in Ukrainian].
9. Sukhovych, V.M., Kopyi, L.I., Kaganyak, Yu.Yo. et al. (2021). Varianty formuvannia sosnovykh derevostaniv na porushenykh vydobuvanniam burshtynu zemliakh [Some options of pine stands reproduction on lands disturbed by amber extraction]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific bulletin of NLTU of Ukraine*, 31 (5), 17–21. DOI: <https://doi.org/10.36930/40310502> [in Ukrainian].
10. Lavrenko, E.M., Korchagin, A.A. (Eds.). (1959). *Osnovnye zakonomernosti rastitel'nykh soobshchestv i puti ih izuchenija. Polevaja geobotanika [Basic regularities of plant communities and ways of studying them. Field geobotany]*. (Vol. 1). Moskva–Leningrad [in Russian].
11. Lavrenko, E.M., Korchagin, A.A. (Eds.) & Junatov, A.A. (1964). *Zalozhenie jekologicheskikh profilej i probnykh ploshhadej. Polevaja geobotanika [Establishment of ecological profiles and test plots. Field geobotany]*. (Vol. 3). Moskva–Leningrad [in Russian].
12. Korchagin, A.A., Lavrenko, E.M. (Eds.). (1964). *Vidovoj (floristicheskij) sostav rastitel'nykh soobshchestv i metody ego izuchenija. Polevaja geobotanika [Species (floristic) composition of plant communities*

- and methods of its study. Field geobotany*]. (Vol. 3). Moskva–Leningrad [in Russian].
13. Dobrochaev, D.N., Kotov, M.I., Prokudin, Ju.N. et al. (Eds.). (1999). *Opredelitel' vysshih rastenij Ukrainy [Determinant of the highest plants of Ukraine]*. Kyiv [in Russian].
 14. Mosyakin, S.L. (Ed.) & Fedoronchuk, M.M. (1999). *Vascular plants of Ukraine: A nomenclatural checklist*. Kyiv [in English].
 15. Didukh, Ya.P. (Ed.). *Zelena knyha Ukrainy [The Green Book of Ukraine]*. Kyiv [in Ukrainian].
 16. Kuzemko, A.A., Didukh, Ya.P., Onyshchenko, V.A. et al. (Eds.). (2018). *Natsionalnyi katalog biotopiv Ukrainy [National catalog of biotopes of Ukraine]*. Kyiv [in Ukrainian].
 17. Didukh, Ya. (Ed.). (2009). *Chervona knyha Ukrainy. Roslynni svit [Red Data Book of Ukraine. Vegetable Kingdom]*. Kyiv [in Ukrainian].
 18. Perelik vydiv roslyn ta hrybiv, shcho zanosyatsia do Chervonoi knyhy Ukrainy (roslynni svit): nakaz vid 15.02.2021 roku [List of species of plants and mushrooms included in the Red Book of Ukraine (Vegetable Kingdom): order of 15.02.2021]. *Ministerstvo zakhystu dovkil'ia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy – Ministry of Environment Protection and Natural Resources of Ukraine*, 111 [in Ukrainian].
 19. Akimov, I. (Ed.). (2009). *Chervona knyha Ukrainy. Tvarynni svit [Red Data Book of Ukraine. Animal Kingdom]*. Kyiv [in Ukrainian].
 20. Perelik vydiv tvaryn, shcho zanosyatsia do Chervonoi knyhy Ukrainy (tvarynni svit): nakaz vid 19.01.2021 roku [List of animal species included in the Red Book of Ukraine (Animal Kingdom): order of 15.02.2021]. *Ministerstvo zakhystu dovkil'ia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy – Ministry of Environment Protection and Natural Resources of Ukraine*, 29 [in Ukrainian].
 21. Orlov, O.O. (2017). Roslyny «Chervonoi knyhy Ukrainy» na diliankakh v Ukrainському Polissi, de vidbuvaietsia synhenez pislia vidkrytoi rozrobky korysnykh kopalyn [Plants of the «Red Book of Ukraine» in areas in Ukrainian Polis, where syn- genesis occurs after open mining]. *Biologichni doslidzhennia–2017: Zbirnyk naukovykh prats' VIII Vseukrayins'koyi naukovо-praktychnoyi konferentsiyi z mizhnarodnoyu uchastyu [Biological research-2017: Collection of scientific works of the 8th All-Ukrainian scientific and practical conference with international participation]* (pp. 392-393). Zhytomyr [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 29.07.2022

КОРЕНЕВІ ЕКЗОМЕТАБОЛІТИ ЯК ЕКОЛОГІЧНИЙ ЧИННИК У ВЗАЄМОДІЇ КУЛЬТУРНИХ РОСЛИН З ҐРУНТОВИМИ МІКРООРГАНІЗМАМИ

А.І. Парфенюк, Н.А. Косовська, В.В. Бородай, Ю.А. Туровнік

*Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: vereskipar@ukr.net; ORCID: 0000-0003-0169-4262
e-mail: kosovska.na@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8881-847X
e-mail: veraboro@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8787-8646
e-mail: turovnikyulia@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3437-4660*

Викладено результати аналізу джерел наукової літератури щодо ролі корневих екзо-метаболітів у взаємодії між культурними рослинами та ґрунтовими мікроорганізмами. Доведено, що кореневі екзо-метаболіти розпізнаються ризосферними мікроорганізмами, які, своєю чергою, продукують сигнальні молекули та ініціюють різні реакції рослин у відповідь на колонізацію. Розглянуто основні функції корневих екзо-метаболітів та наведено їхні специфічні особливості залежно від виду рослин та стадії їхнього розвитку. Викладено результати досліджень щодо позитивного впливу мікробіому ризосфери на ріст і розвиток рослин, який обумовлено секрецією гормонів росту рослин рістстимулювальних бактерій, солюбілізацією поживних речовин, антагонізмом до патогенів та індукцією імунної системи рослин. Описано компоненти захисних метаболічних систем рослин від ґрунтових фітопатогенних мікроорганізмів, що забезпечують біомолекули фенольних сполук. Висвітлено механізми регуляції взаємодії як на рівні молекулярних та ультраструктурних змін клітини, так і на рівні біохімічних та фізіологічних процесів. Показана участь білків-транспортів у синтезі та ексудації захисних фітохімічних речовин, які можуть бути модифіковані мікробіомом ґрунту. Сигнальні молекули рослин індують гіфальну розгалуження мікроміцетів і запускають морфогенез гіф грибів, що передують успішній колонізації. Розглянуто особливості везикулярно-арбускулярної мікоризи, індуквані кореневі ексудати якої сприяють як розвитку мікробних асоціацій у ризосфері, так і росту рослин. Взаємодія рослин із ґрунтовими мікроорганізмами відіграє важливу роль у стійкості рослин до важких металів, наприклад за рахунок зменшення їх біодоступності в ґрунті за допомогою різних механізмів. Дослідження корневих екзо-метаболітів рослин дасть змогу краще зрозуміти взаємодію рослин із мікроорганізмами, та її екологічну роль у мікробно-рослинних асоціаціях.

Ключові слова: ексудати рослини, коренева система, мікробіом, ризосфера, сигналінг, метаболіти.

ВСТУП

Впродовж останніх десятиліть увагу вчених світу зосереджено на вивченні синекологічних механізмів взаємодії між рослинами і ґрунтовими мікроорганізмами та визначенні шляхів передачі сигналів у системі рослина — ґрунтові мікроорганізми за впливу абіотичних, біотичних та антропогенних чинників [1–3].

Взаємодія рослин і мікроорганізмів базується на процесах алелопатії та передачі

сигналів від рослини до рослини або до мікроорганізмів за допомогою алелохімічних (переважно токсинів) або сигнальних хімічних речовин. Зазначені речовини можуть потрапляти в довкілля різними шляхами: через випаровування, через виділення з вегетативних органів (активні — ексудати, пасивні — дифузати), вилугування з опадів (сапроліни). Рослини у відповідь на хімічні речовини, можуть ініціювати алелопатичну інтерференцію, що призводить до регуляції взаємодій. Алелохімічні речовини мають переважно негативний вплив на рослину-реципієнта. Неток-

сичні сигнальні хімічні речовини є інформативними для взаємодіючих рослин та мають нейтральний або позитивний вплив. Наприклад, деякі речовини, такі як бензоксазіноїди та момілактони, можуть функціонувати як нетоксичні сигнали [4–7].

Надземні сигнальні взаємодії можуть контролюватись леткими екзометаболітами, до яких належать: етилен, метилжасмонат і саліцилат, індол і кілька летких терпенів, що значною мірою відповідають за наземні сигнальні взаємодії між рослинами. Леткі органічні сполуки (ЛОС) можуть продукуватись мікроорганізмами ризосфери, наприклад *Burkholderia cepacia*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Pseudomonas trivialis* та *P. fluorescens*, *Serratia plymuthica* та *Bacillus subtilis*. Відомо, що вони впливають на розвиток рослин навіть у незначній концентрації порівняно з іншими метаболітами [7].

Однак механізми та ідентичність корневих екзометаболітів у сигнальних взаємодіях рослин у ґрунті вивчені недостатньо. Це зумовлено як складністю ґрунтових процесів, так і методологічними обмеженнями щодо дослідження сигнальних хімічних речовин, які знаходяться в ґрунті [8].

Метою дослідження є визначення ролі корневих екзометаболітів як екологічного чинника у взаємодії культурних рослин із мікроорганізмами.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Під час дослідження застосовували метод логічного узагальнення досліджень на основі аналізу наукових джерел щодо ролі корневих екзометаболітів у взаємодії між культурними рослинами та ґрунтовими мікроорганізмами. Розглянуто теоретичні основи щодо позитивного впливу мікробіому ризосфери на ріст і розвиток рослин, який обумовлено секрецією гормонів росту рослин, рістстимулювальних бактерій, солубілізацією поживних речовин, антагонізмом до патогенів та індукцією імунної системи рослин. Узагальнено зарубіжний досвід досліджень, пов'язаних із механізмами регуляції взаємодії як на рівні молеку-

лярних та ультраструктурних змін клітини, так і на рівні біохімічних та фізіологічних процесів, окреслено тенденції розвитку досліджень компонентів захисних метаболічних систем рослин від ґрунтових фітопатогенних мікроорганізмів.

Шляхом аналізу наукових джерел розглянуто теоретичні основи щодо ролі корневих екзометаболітів як екологічного чинника у мікробно-рослинних асоціаціях, узагальнено зарубіжний і вітчизняний досвід.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Взаємодія рослин та мікроорганізмів зумовлює низку трансформацій у ризосфері, до яких належать функціонування екосистеми та кругообіг поживних речовин. Кореневі екsudати виконують численні функції, включаючи: зміну фізичних і хімічних властивостей ґрунту, сприяння корисним симбіозам, модуляцію мікробіому коренів і мікробних спільнот ґрунту, а також регуляцію взаємодії з іншими ґрунтовими організмами [9].

Кореневі екsudати містять низькомолекулярні речовини (амінокислоти, органічні кислоти, вуглеводи, феноли та інші вторинні сполуки, які визначають різноманітність корневих виділень) та високомолекулярні (полісахариди і білки). Склад корневих виділень залежить від виду рослин, також від стадії розвитку рослини, умов зростання, фізико-хімічних властивостей середовища, в якому розвивається коренева система.

Кореневі екзометаболіти мають різні фізіологічні властивості та представлені спектром органічних сполук із різних класів. Це водорозчинні речовини, що надходять із коренів у ґрунт; високомолекулярні полісахариди на поверхні коренів; клітини кореневого чохла, що відшаровуються, які частково залишаються в кореневій зоні; відмираючі клітини епідермісу; леткі та газоподібні метаболіти проростаючого насіння і коренів [10].

Склад корневих екзометаболітів також корелює із способом фотосинтезу рослин.

Наприклад, рослини С3 і С4 демонструють варіації у типах ексудатів, що виділяються в ризосферу. Домінуючими цукрами у рослинах С3 є маноза, мальтоза та рибоза, в той час як у рослинах С4 — інозитол, еритритол і рибітол. Рослини С4 виділяють більшу кількість органічних кислот і амінокислот, ніж рослини С3. Ексудати коренів рослин С4 мають різний рН [11].

Відомо, що як у природних ценозах, так і в агроценозах рослини функціонують завдяки доступним, біотичним речовинам. Упродовж вегетації за стресових умов у рослин включаються механізми адаптації, захисні реакції, які працюють більш ефективно на початкових етапах онтогенезу та коригують стратегію росту і розвитку [8]. Обсяг і характер ексудації змінюються залежно від віку рослини. Адже молоді тканини рослини виділяють більше сполук вуглецю через кореневу систему, тоді як старі тканини рослин — у пагонах. Це призводить до збільшення об'єму корневих екзометаболітів у молодих рослин порівняно із старими [12].

На початку квітання, у рослин наявна велика кількість білків, пов'язаних із їхнім захистом від фітопатогенних мікроорганізмів. Вважається, що леткі антимікробні сполуки відіграють важливу роль у взаємодії рослин із мікробіомом на великих відстанях.

Досліджено, що сигнальні взаємодії у ґрунті впливають на розвиток надземних органів, особливо за квітання та розмноження рослин, під час яких кореневі ексудати відіграють значну роль у внутрішньовидовому розпізнаванні [1]. Авторами розшифровано молекулярні механізми біосинтезу, секреції та дії сигнальних хімічних речовин коренів. Одними з напрямів досліджень є розробка методологічних стратегій, за допомогою яких встановлюють роль алалопатичних речовин із корневих ексудатів.

Кореневі ексудати мають різноманітні функції, наприклад глікозиди та синильна кислота пригнічують ріст патогенних грибів; флавоноїди відповідають за колонізацію везикулярно-арбускулярної мікоризи;

фітоалексини та нафтохінони захищають клітини кореня рослин від колонізації патогенними мікроорганізмами; розмарінова кислота має антифунгальну дію щодо *Phytophthora cinnamoni*; сесквітерпени викликають розгалуження гіф мікроміцетів у мікоризі. Відомо, що ризосферні бактерії роду *Pseudomonas* (PGPR) можуть використовувати пули кореневого ексудату для попередників — регуляторів росту рослин. Так, триптофан є попередником індолицтової кислоти (ІОК) та фітогормону ауксину та сприяє росту та розвитку рослин [13].

Комунікації в ризосфері мають каскадний комплекс регуляторних реакцій, який реагує на конкретну сполуку, викликаючи у відповідь транскрипцію специфічних локусів. Багато аскоміцетів, що населяють мікробіом, виділяють сигнальні молекули, переважно спирти, які є активними учасниками процесів розвитку рослин [14]. N-ацилгомосеринові лактони (AHL), клас сигнальної молекули QS, також можуть діяти як сигнали між організмами, які регулюють експресію генів рослин у навколишньому середовищі, системну стійкість рослин до стресу, а також як ефектори росту та розвитку рослин.

Мікробіом ризосфери має вирішальне значення для росту, живлення та здоров'я рослин. Він складається з великої різноманітності геномів еукаріотів, вірусів і прокаріотів. Позитивний вплив мікробіому ризосфери на ріст і розвиток рослин обумовлено секрецією гормонів росту рослин, солубілізацією поживних речовин, антагонізмом до патогенів та індукцією імунної системи рослин. Продуктування рослинами сполук вуглецю та інших речовин у складі ексудатів у навколишньому середовищі збільшує різноманітність мікробіому (рис. 1).

Фотосинтати — продукти фотосинтезу у вигляді простих цукрів (для отримання та продуктування енергії); фітосидерофори (посилюють мікробну діяльність у ґрунті, знімають стрес через дефіцит заліза та цинку); полісахариди — крохмаль (накопичення енергії) [15].

Кореневі екзометаболіти визначають рівень хемотаксису бактерій, підтриму-

ють вологість ґрунту та змінюють його хімічні властивості, стабілізують ґрунтові агрегати навколо коренів і контролюють пригнічення росту рослин-конкурентів.

Взаємодія рослин і мікроорганізмів включає активацію та інактивацію генів, а також індукцію та пригнічення реакцій на різні сигнали [16].

Виявлено, що у коренях рису наявні трансмембранні білки (транспортери МАТЕ), які переносять хімічні і токсичні сполуки та сприяють виділенню фенольних сполук у киселему рослини. Такі транспортери, як МАТЕ, здатні передавати фітохімічні сполуки з коренів у мікробіом ризосфери. Однак вони не експортують антимікробні сполуки, що ставить під сумнів їхню роль у біоконтролі.

Білки-транспортери АВС, що зв'язують АТФ, розміщені в клітинах коренів. Ці транспортери залучені до позаклітинної секреції білків, які є складовими кореневих екзопродуктів. Своєю чергою, пригнічення транспортерів АВС призводить до посилення сприйнятливості коренів до патогенних мікроорганізмів. Це пояснюється зниженою секрецією антифунгальних сполук, таких як дитерпеновий склареол. Однак окрім транспортерів МАТЕ і АВС, існує ще велика кількість транспортерів, які можуть брати активну участь у захисних механізмах рослин. Досліджено, що за біотичного стресу у рослин *Medicago truncatula* відбувається пригнічення синтезу транспортера АВС, що зменшує синтез медікарпіну в фенілпропановидному шляху. Це призводить до підвищення рівня ізофлавоноїдів у рослин. Транспортери АВС модулюють синтез та ексудацію захисних фітохімічних речовин, які можуть бути модифіковані мікробіомом. Наприклад, зниження експресії гена MtABCG10, що кодує білок АВС у *Medicago truncatula*, призводить до підвищення інфікування коренів грибом *Fusarium oxysporum*. Окрім цього, визначено, що дефіцит азоту активізує біосинтез геністеїну (ізофлавонон), який зв'язується з білком NodD та

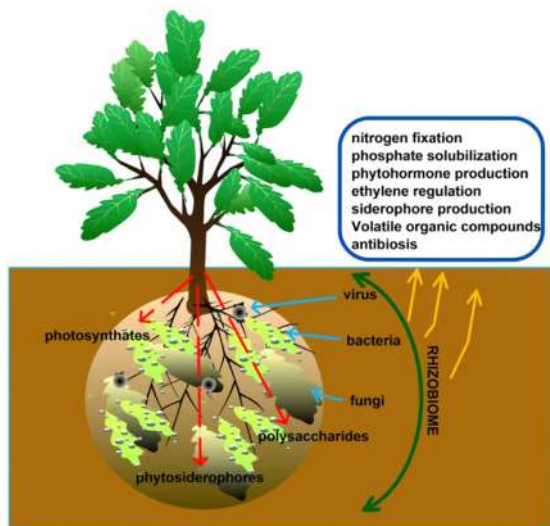


Рис. 1. Різноманітність мікробіому ризосфери та його вплив на рослини

ініціює утворення бульбочок з коренів сої [17].

Фенольні сполуки є активними компонентами захисних метаболічних систем рослин. Водночас вони можуть діяти як сигнальні молекули, використовуючи захисні реакції рослин як про- або антиоксиданти, можуть впливати на рівні вільних радикалів, кількість яких збільшується в клітинах за стресів різної етіології [1].

Хімічна передача сигналів між коренями рослин та іншими ґрунтовими мікроорганізмами, базується на складових корневих екзопродуктів (рис. 2).

Деякі спеціалізовані метаболіти, такі як проліни, кумарини та органічні кислоти, можуть сприяти росту рослин в умовах абіотичного стресу (тобто посухи, солоності та дефіциту поживних речовин) або через покращене засвоєння поживних/мінеральних речовин, або через активну осморегуляцію коренів. Під час певного біотичного стресу вивільняються спеціальні кореневі екsudати, такі як фенольні сполуки, нелеткі терпеноїди, леткі терпени та сірчані сполуки (напр., диметилдисульфід (DMDS), диметилтрисульфід (DMTS)), які можуть безпосередньо пригнічувати враженість рослин патогенами і шкідни-

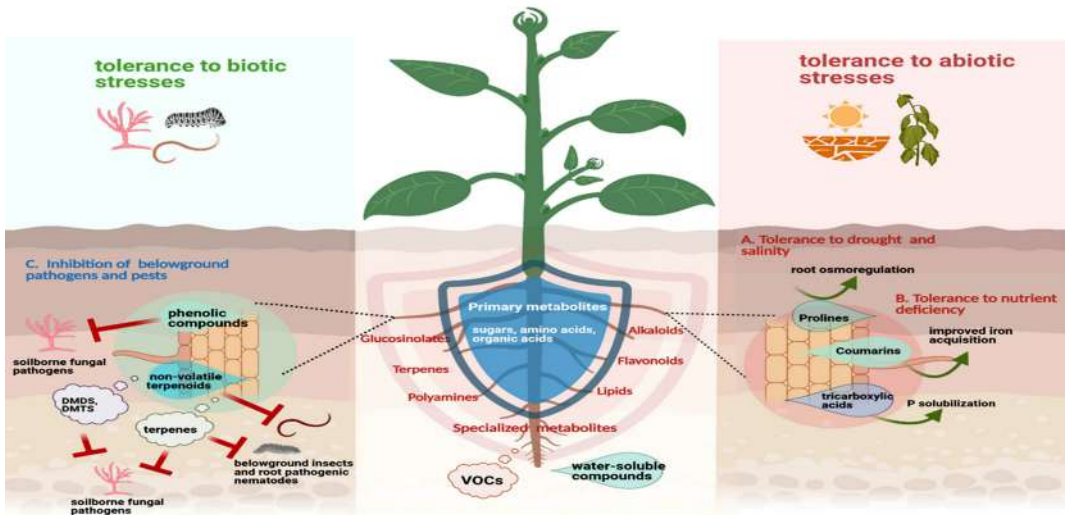


Рис. 2. Схематичне зображення прямої ролі корневих ексудатів у стійкості рослин до біотичних та абіотичних стресів; посуха та засолення (А), дефіцит поживних речовин (В), ґрунтові патогени та шкідники (С) [18]

ками, що передаються через ґрунт. Прикладом подібної передачі хімічних сигналів є секреція ізофлавонів коренями сої, що приваблює як мутуалістів (*Bradyrhizobium japonicum*), так і патогенів, наприклад, *Phytophthora sojae*.

Флавоноїди становлять велику частку вторинних метаболітів, отриманих із фенілпропанонідів, у рослинах, що є складовими корневих екзометаболітів. Похідні ізофлавоноїдів, такі як фітоалексинписатин з *P. sativum*, є важливими протимікробними сполуками в бобових рослинах. Встановлено, що нелеткі та напівлеткі терпеноїдні фітохімічні речовини можуть секретуватися в мікробіом [19]. Флавоноїди, що присутні в корневих ексудатах бобових, активують гени *Rhizobium meliloti*. Зазначені гени відповідальні за процес утворення бульбочок на корнях рослин. Флавоноїди також можуть бути відповідальними за утворення везикулярно-арбускулярної мікоризи (ВАМ).

Наявність мікроорганізмів впливає на якісний та кількісний склад флавоноїдів, присутніх у ризосфері, як через модифікацію корневих ексудатів, так і через мік-

робний катаболізм ексудатів. Мікробні сукцесії і ослаблення сигналів фенольних сполук може мати екологічні наслідки у взаємодії рослина – мікроорганізми. Такі природні захисні механізми, що забезпечують біомолекули фенольних сполук, заступають на особливу увагу в аспекті їхнього практичного використання як альтернативи хімічному контролю збудників хвороб [20].

Відомо, що трансмембранні рецептори – патерн-розпізнавальні рецептори (PRRs) контролюють неспецифічний імунітет рослин. PRR є білками, які присутні на поверхні клітин імунної системи і здатні розпізнавати стандартні молекулярні структури, специфічні для великих груп патогенів. Їх також називають рецепторами розпізнавання патогена. Розпізнавання консервативних мікробних доменів (патоген-асоційованих молекулярних структур, PAMP) за допомогою PRRs ініціює активацію мітоген-активованих протеїнкіназ (MAPKs), генерацію активних форм кисню (АФК), виділення іонів Ca^{2+} , транскрипційне переграмування, біосинтез гормонів та відкладення калози у клітинній стінці [21].

Останніми роками розпізнавання патернів стало важливим процесом в імунних реакціях рослин. Наявність рецепторів розпізнавання патернів (PRR) дає можливість рослинам сприймати різні молекулярні сигнали, властиві певним класам мікроорганізмів, що взаємодіють із ними. Ці взаємодії можуть бути патогенними або непатогенними [21]. Рослини здатні виявляти наявність мікроорганізмів за допомогою PRR, які зв'язуються з мікробасоційованими молекулярними патернами (MAMP). Останні продукуються бактеріями в ризосфері. Зв'язування PRR-MAMP активує імунну відповідь рослини для пригнічення патогенних мікроорганізмів. Імунна відповідь запускає сигнальний каскад, який активує фактори транскрипції, активні форми кисню, певні форми азоту та гени, пов'язані із захистом рослин [22].

Відомо, що культурні рослини, які характеризуються високою стійкістю до фітопатогенних мікроорганізмів, зумовлюють значний селективний тиск на їх популяції, що призводить до відбору патогенних та агресивних форм. Сильно сприйнятливі рослини забезпечують швидкий ріст чисельності популяцій фітопатогенів. Окрім того, доведено, що незалежно від стійкості до хвороб, деякі сорти культурних рослин можуть підвищувати репродуктивну здатність патогенних мікроміцетів, що зумовлює істотне зростання інтенсивності фітопатогенного фону — чинника біологічного забруднення агроєкосистем [23].

Кореневі ексудати утворюють захисний комплекс хімічних сполук у мікробіомі. Відомо, що як низько-, так і високомолекулярні метаболіти, які є складовими корневих ексудатів, сприяють захисту рослин від ґрунтових фітопатогенних мікроорганізмів. Відповідно до цього, наприклад, надмірна експресія гена *Arabidopsis*, який регулює біосинтез камалексину та саліцилової кислоти (SA), підвищує стійкість рослин сої до нематод. Активація зазначених генів стійкості, в результаті інфекції, активує внутрішній синтез, накопичення і секрецію камалексину. В той самий час депресія цих генів призводить до пригні-

чення утворення камалексину і збільшення ураження рослин патогенами. Стриголактони, перебуваючи в ризобіомі під час зараження кореневими паразитичними рослинами, беруть участь у симбіозі рослин з арбускулярними мікоризними грибами. Один із цих ефектів здійснюється шляхом втручання в шляхи гормонального захисту, сприяючи тим самим явним стресовим реакціям, викликаним рослинами в ризобіомі. Про це також свідчить пригнічення росту безлічі фітопатогенних грибів за присутності синтетичного аналогу стриглактону GR24 [24].

Відомо, що фотосинтетично фіксований вуглець, який є складовою корневих екзо-метаболітів, і низькомолекулярних антимікробних сполук, таких як фітоантиципіни та фітоалексини, є важливими для росту, розвитку та захисту рослин від хвороб [25].

З іншого боку фітоалексини захищають клітини кореня рослин від колонізації патогенними мікроорганізмами. Відомо, що спектр хімічних елементів корневих екзо-метаболітів є різноманітним. Він включає велику кількість антимікробних сполук. Наприклад, розмаринова кислота в кореневому ексудаті солодкового базиліку, має антифунгальну дію стосовно *Phytophthora cinnamoni*. В той самий час *Lithospermum erythrorhizon* продукують пігментовані нафтохінони, що також беруть участь у захисті ризосфери рослин від патогенних мікроорганізмів. Приваблення рухомих зооспор ооміцетів — патогенів рослин, до поверхні коренів рослин відбувається за механізмом, який включає використання електричних потенціалів у коренях рослин, що утворюються в результаті електрогенного транспорту іонів на їхній поверхні [26].

Бактерії, що мають корисні для рослин властивості, прийнято позначати аббревіатурою PGPR (plant-growth-promoting-rhizobacteria або рiстстимульовальні ризобактерії). Одним із механізмів рiстстимуляції рослин ґрунтових бактерій групи PGPR є утворення гормонів росту. Наприклад, синтез гіберелової кислоти та цитокініну

притаманний для *Azospirillum*, *Arthrobacter* та *Azotobacter*.

До механізмів бактерій, що пригнічують розвиток фітопатогенних мікроорганізмів, належать: здатність продукувати сидерофори, хелатори заліза, які роблять залізо недоступним для патогенів; антифунгальні метаболіти; ферменти, що лізують клітинну стінку грибів, регуляція рівня рослинного гормону етилену за участю ферменту АЦК-деамінази у відповідь на стресовий вплив фітопатогенів. Бактерії здатні конкрувати з фітопатогенними грибами за поживні речовини або специфічні ніші в кореневій системі, а також викликати системну резистентність [27].

Мікоризний симбіоз зумовлює зменшення симптомів та підвищення стійкості рослин до патогенних мікроорганізмів. Вивчено роль гриба *Glomus mossea* у біологічному захисті пшениці від збудника сажки (*U. agropyri*). Виявлено, що інокуляція ВАМ пригнічує захворюваність сажкою від 48,2% до 23% за подвійної інокуляції *G. mosseae* і *U. agropyri*. Подвійна інокуляція також призводить до збільшення сухої маси коренів і пагонів, а також урожайності. Відомо, що кілька родів бактерій (*Streptomyces*, *Agrobacterium*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Bacillus*, *Serratia*, *Azotobacter* і флуоресцентні штами *Pseudomonas*) здатні контролювати захворювання рослин.

Відомо, що кореневі екзометаболіти впливають на ріст та розвиток багатьох патогенних грибів, які належать до родів: *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Sclerotium*, *Aphanomyces*, *Pythium*, *Verticillium* та *Phytophthora*, особливо в результаті стимуляції кореневими екзометаболітами сприйнятливих сортів рослин-живителів. Мікробіом ризосфери може включати симбіонтів, які проникають у корені, як мікоризні гриби, або ризобії. Крім мобілізації поживних речовин, бактерії ризосфери можуть забезпечувати захист рослин від патогенних ґрунтових мікроорганізмів, сприяючи росту рослин.

Виявлено, що дитерпеновий ризатален А продукується та вивільняється неінфікованими коренями *A. thaliana*, та є частиною системи регуляції захисту коренів. Росли-

ни з дефіцитом ризаталену А більш сприйнятливі до шкідників. Отже, мікробіом є не лише місцем взаємодії фітопатогенів із рослинами, а також місцем забезпечення захисту рослин від збудників хвороб та шкідників.

Відомо, що момілактон А накопичується в листках рослин рису, уражених фітопатогенними мікроміцетами. Крім момілактону А – прототипу фітоалексину, рівень фітоантиципіну (антимікробна сполука, що присутня в рослинах за будь-якого зараження патогенними мікроорганізмами) також може підвищуватися за інфікування патогенами. Момілактон А з іншими кореневими ексудатами викликає активність як фітоантиципінів, так і індукованих патогенами фітоалексинів. З іншого боку, зменшення фітоантиципіну спостерігається в кореневих волосках за синтезу β-криптогену. Це свідчить про його регуляторну дію на секрецію фенольних сполук у мікробіомі. Наприклад, аномальний синтез β-криптогену в кореневих волосках *Coleus blumei* імітує інфікування патогенами і, як наслідок, посилює синтез розмаринової кислоти, яка, своєю чергою, проявляє антимікробну активність. Декілька антифунгальних фенілпропановідних кореневих ексудатів були індуковані у *Hordeum vulgare* в результаті взаємодії рослини з *Fusarium graminearum* [28]. За взаємодії з рослинами бактерії утворюють захисні біоплівки або продукують антибіотики, які використовуються як біоконтроль проти фітопатогенів.

Грампозитивні і грамнегативні бактерії, включаючи фітопатогенні бактерії, мають систему розпізнавання, яка контролює експресію кількох генів, що відповідають за патогенність [3]. Такі бактерії продукують і виділяють аутоіндуктори. Вони зв'язуються зі своїм рецептором і активують транскрипцію генів, у тому числі для синтезу індуктора. Виявлено, що грампозитивні стрептоміцети регулюють утворення спор, а також вироблення антибіотиків за допомогою сигналу кворуму, який називається А-фактором. Іншими механізмами біоконтролю, які використовуються

рістстимулювальними мікроорганізмами є інтерференція кворуму, антибіоз і конкуренція за поживні речовини. Більшість ризобактерій і ризосферних грибів також виробляють метаболіти, які пригнічують ріст патогенів. Грампозитивні і грамнегативні бактерії мають систему розпізнавання кворуму, яка контролює експресію кількох генів, необхідних для патогенності. Сигналами для визначення кворуму є N-ацилгомосеринові лактони (AHL), пептидними аутоіндукторами та A-фактор для стрептоміцетів. Подібно до непатогенних мікроорганізмів, патогенні індукують у рослинах шлях метаболізму саліцилової кислоти замість жасмонової кислоти/етилену. Наприклад, до таких організмів належать *P. syringae* та біотрофний гриб *U. maydis*, який викликає сажкову хворобу кукурудзи [3].

Сидерофори відіграють роль хімічних сигналів для міжвидової комунікації між бактеріями в природній мікробній екосистемі. Мікроорганізми ризосфери за допомогою сидерофорів беруть участь у зв'язуванні мікроелементів, таких як залізо, які існують переважно в нерозчинній формі, що робить їх недоступними для рослин. Поглинаючи ці поживні речовини, вони позбавляють патогенів доступу до цих елементів, що призводить до пригнічення розвитку патогенів. Мікробіом ризосфери може впливати на популяції рослин, що зумовлює до взаємного співіснування конкурентів в одному середовищі. Це може бути або позитивна асоціація, що включає симбіоз живителя, або негативна, за участю патогенів, або нейтральна. Сигнальні молекули кореневих екзометаболітів розпізнають ризосферні мікроорганізми, які, своєю чергою, синтезують відповідні сигнальні молекули, та ініціюють реакції рослин, необхідні для їх колонізації. Хемотаксис бактерій до коренів є важливим параметром конкурентної колонізації, що стимулюється вуглеводами та амінокислотами кореневих екзометаболітів, які впливають на рухливість джгутиків. Білки зовнішньої мембрани бактерій також відіграють важливу роль у ранньому розпізнаванні

живителя. Ці білки у *Azospirillum brasilense* зв'язуються з іммобілізованими на мембрані екстрактами коренів кількох видів рослин із різною спорідненістю. Мікробіом ризосфери може взаємодіяти з кореневими аглютинінами, присутніми в корневих ексудатах [29].

Вивільнення флавоноїдів із коренів бобових активує транскрипцію *rhizobia nod factor* (NF), тобто ліпохітоолігосахаридів (LCOS). Ці чинники пояснюють специфічність ризобії-господаря. У рослин наявні білки LysM-рецепторної кінази, що зв'язуються і реагують на MAMP. Встановлено їхню роль у формуванні бульбочок різних рослин [30].

Не менш важливою є взаємодія між бобовими і грамнегативними азотофіксуючими бактеріями. Вільноживучі протеобактерії (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Azorhizobium* і *Photorrhizobium*) можуть інокулювати бобові рослини та встановлювати з ними симбіотичні зв'язки. Утворені в результаті бактеріального метаболізму з органічного матеріалу сполуки азоту стимулюють розвиток рослин. Наприклад, розвиток вільної азотофіксуючої бактерії *Azospirillum vinelandii* контролюється сполуками вуглецю, що продукують рослини. Під час росту у ґрунті з низьким вмістом азоту у присутності бактерій *A. vinelandii*, рослини використовують фіксовані сполуки азоту [31].

Здатність будь-якого мікроорганізму, що стимулює ріст, впливати на зміни архітектури коренів призводить до збільшення кількості корневих волосків та сприяє більшому поглинанню поживних речовин рослиною. Про це свідчать роботи Олаха та ін., в яких доведено, що кількість бічних коренів *Medicago truncatula* збільшується за впливу ліпохітоолігосахаридів (LCOs). Про збільшення довжини, площі поверхні та кількості коренів у *A. thaliana* за інокуляції *Bradyrhizobium japonicum*-LCOs повідомляє Khan M.S. [32]. Відомо, що бактерії змінюють морфологію коренів і збільшують їх біомасу. Завдяки цьому корені отримують більше поживних речовин із ґрунту. Було показано, що обробка аук-

синами посилює колонізацію коренів ґрунтовими бактеріями, наприклад, *Azospirillum*. Гіфальне розгалуження мікроміцетів забезпечує контакт із коренем живителя та сприяє утворенню симбіозу. Сигнальні молекули рослин індукують розгалуження і запускають морфогенез гіф гриба, що передує успішній колонізації. Кореневі виділення із рослин з обмеженим вмістом фосфатів є більш активними, ніж із рослин з достатньою кількістю фосфору. Це свідчить про те, що розгалуження в коренях регулюються доступністю фосфору у ґрунті. Наприклад, виявлено сесквітерпени, з ексудатів коренів рослин *Lotus japonicus*, які викликають розгалуження гіф мікроміцетів у мікоризі, що може стати корисним у встановленні нової ролі кореневих ексудатів у взаємодії рослини та мікоризи. Захисні процеси, які завжди запускаються у відповідь на мікробну інвазію, модулюються в мікоризі [31].

Везикулярно-арбускулярна мікориза (ВАМ) утворює тісний і взаємовигідний зв'язок між кореневою системою рослини та мікоризним грибом. Щоб задовольнити потреби рослини-живителя і гриба, який знаходиться в арбускулярній мікоризі (АМ), відбуваються метаболічні процеси, які забезпечують їхню адаптацію. Як і ризобії, мікоризні гриби, розпізнають свого сумісного живителя за допомогою кореневих екзометаболітів [31]. ВАМ-індуковані кореневі ексудати сприяють як розвитку мікробних асоціацій у ризосфері, так і росту рослин.

Оскільки ризосфера є середовищем високої мікробної активності, слід враховувати вплив мікроорганізмів на процеси мобілізації/імобілізації чи деградації органічних забруднень. Органічні забруднювачі можуть піддаватися ферментативному впливу та мікробіологічному розкладу. Інтенсифікація сільського господарства мала довгостроковий шкідливий вплив і призвела до збільшення концентрації важких металів у ґрунті. Під впливом важких металів істотно змінюється склад продукованих мікроорганізмами екзометаболітів. Дуже часто це виявляється у синтезі речовин, які

є шкідливими для вищих рослин та стають причиною токсикозу ґрунту. Так, наприклад, показано, що під впливом сполук Pb у дерново-підзолистому легкосуглинистому ґрунті під культурами гороху та вівса відбувалися зміни метаболічних процесів у грибів роду *Alternaria*, що сприяло утворенню токсичних для рослин сполук [33].

Взаємодія рослин із ґрунтовими мікроорганізмами відіграє важливу роль у стійкості рослин, наприклад, за рахунок зменшення біодоступності металів у ґрунті за допомогою різних механізмів. Так, гени, що належать родині транспортерів МАТЕ, які кодувають транспортні білки цитрату, активують виділення органічних кислот кореневою системою. Виділення бурштинової, яблучної, лимонної та деяких інших кислот та їх похідних (малату, цитрату, оксалату, сукцинату), які хелатують алюміній у кореневій зоні ґрунту, є ефективним механізмом стійкості багатьох культур. Органічні кислоти та їх похідні, що виділяються корінням рослин, видоспецифічні [34].

Біоаккумуляція міді, кадмію та нікелю була виявлена у стрептоміцетах, групі грам-позитивних бактерій, що домінують на бідних ґрунтах із високим вмістом важких металів. Окрім того, була перевірена здатність мікроміцетів, у т. ч. ектомікоризних грибів, до біоаккумуляції важких металів. Це пов'язано із здатністю важких металів зберігатися у вигляді фосфатних солей у вакуолі клітин грибів. В умовах стресу, таких як посуха, забруднення важкими металами або дефіцит поживних речовин, ВАМ забезпечує рослини водою та поживними речовинами і діє як біофільтр для важких металів, сприяючи росту рослин [33].

Отже, коренева ексудация є однією з найважливіших функцій рослинних організмів, яка сприяє регуляції взаємодії між рослинами і ґрунтовими мікроорганізмами. Кореневі ексудати беруть участь у кількох типах взаємодій, як позитивних (симбіотичні відносини, стимулюванням росту рослин мікроорганізмами групи PGPR, мікоризними грибами), так і негативних у системі рослина – ґрунт – мікроорганізми.

ВИСНОВКИ

Взаємний вплив рослин у фітоагроценозах здійснюється насамперед через кореневі системи. Дія корневих екзOMETАБОЛІТІВ може виявлятися як на рівні молекулярних та ультраструктурних змін клітин, так і на рівні біохімічних та фізіологічних процесів. За дії алелохімічних або сигнальних хімічних речовин відбувається регуляція міжвидової або внутрішньовидової взаємодії рослин з мікроорганізмами. Алелопатичні сполуки зазвичай створюють «множинні каскадні ефекти», які впливають на сукце-

сію мікробних спільнот, просторову структуру, мутуалістичні асоціації, цикл азоту в ґрунті, а також на продуктивність і захист рослин. У відповідь рослини розвивають складні молекулярні та фізіологічні механізми для кращої адаптації, толерантності та виживання. Дослідження корневих екзOMETАБОЛІТІВ рослин надасть можливість краще зрозуміти взаємодію рослин та мікроорганізмів, що визначають їх роль як екологічного чинника у мікробно-рослинних асоціаціях.

ЛІТЕРАТУРА

- Kong X.X., Luo L.D., Zhao J.J. et al. Expression of *Frigida* in root inhibits flowering in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*. 2019. Vol. 70. P. 5101–5114. DOI: <http://doi.org/10.1093/jxb/erz287>
- Туровнік Ю.А., Парфенюк А.І., Дем'янюк О.С., Безноско І.В. Кореневі екзOMETАБОЛІТИ рослин соняшнику як фактор впливу на життєздатність фітопатогенного гриба *Alternaria alternata* (Fr.) Keiss. *Збалансоване природокористування*. 2020. № 1. С. 102–107. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2020.203937>
- Shrestha A., Grimm M., Ojiro I. et al. Impact of Quorum Sensing Molecules on Plant Growth and Immune System. *Frontiers in Microbiology*. 2020. Vol. 11. P. 1545. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01545>
- Scavo A., Restuccia A. and Mauromicale G. Allelopathy: Principles and Basic Aspects for Agroecosystem Control. *Springer – Sustainable Agriculture Reviews*. 2018. Vol. 28. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-90309-5_2
- Сучасні методи в алелопатичних дослідженнях. Методичний посібник / за ред. Н.В. Заїменко. Київ: Ліра-К, 2021. 200 с.
- Li B., Li Y.Y., Wu H.M. et al. Root exudates drive interspecific facilitation by enhancing nodulation and N₂ fixation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2016. Vol. 113. P. 6496–6501. DOI: <http://doi.org/10.1073/pnas.1523580113>
- Kong C.H., Zhang S.Z., Li Y.H. et al. Plant neighbor detection and allelochemical response are driven by root-secreted signaling chemicals. *Nature Communications*. 2018. Vol. 9. P. 3867. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06429-1>
- Novoplansky A. What plant roots know? *Seminars in Cell and Developmental Biology*. 2019. Vol. 92. P. 126–133. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.semcdb.2019.03.009>
- Zhalnina K., Louie K.B., Hao Z. et al. Dynamic root exudate chemistry and microbial substrate preferences drive patterns in rhizosphere microbial community assembly. *Nature Microbiology*. 2018. Vol. 3. P. 470–480. DOI: <http://doi.org/10.1038/s41564-018-0129-3>
- Jacoby R.P., Chen L., Schwier M. et al. Recent advances in the role of plant metabolites in shaping the root microbiome. *F1000Research*. 2020. Vol. F1000. Faculty Rev-151. DOI: <https://doi.org/10.12688/f1000research.21796.1>
- Vranova V., Rejsek K., Skene K.R. et al. Methods of collection of plant root exudates in relation to plant metabolism and purpose: a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2013. Vol. 176. P. 175–199. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.2010003>
- Pausch J. and Kuzyakov Y. Carbon input by roots into the soil: quantification of rhizodeposition from root to ecosystem scale. *Global Change Biology*. 2018. Vol. 24. P. 1–12. DOI: <http://doi.org/10.1111/gcb.13850>
- Di Benedetto N.A., Corbo M.R., Campaniello D. et al. The role of plant growth promoting bacteria in improving nitrogen use efficiency for sustainable crop production: a focus on wheat. *AIMS Microbiology*. 2017. Vol. 3. P. 413–434. DOI: <https://doi.org/10.3934/microbiol.2017.3.413>
- Benocci T., Aguilar-Pontes M.V., Zhou M. et al. Regulators of plant biomass degradation in ascomycetous fungi. *Biotechnology for Biofuels and Bio-products*. 2017. Vol. 10. P. 152. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0841-x>
- Lakshmanan V., Selvaraj G. and Bais H.P. Functional soil microbiome: belowground solutions to an aboveground problem. *Journal of Plant Physiology*. 2014. Vol. 166. P. 689–700. DOI: <http://doi.org/10.1104/pp.114.245811>
- Catherine M.-B. and Joel L.S. Symbiotic nitrogen fixation by rhizobia – the roots of a success story. *Plant Journal*. 2018. Vol. 44. P. 7–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.12.001>
- Jiao Y., Wang E., Chen W. and Smith D.L. Complex interactions in legume/cereal intercropping system: role of root exudates in root-to-root communication. *bioRxiv*. 2017. P. 097584. DOI: <https://doi.org/10.1101/097584>

18. Rizaludin M.S., Stopnisek N., Raaijmakers J.M. and Garbeva P. The Chemistry of Stress: Understanding the 'Cry for Help' of Plant Roots. *Metabolites*. 2021. Vol. 11 (6). P. 357. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo11060357>
19. Sohrabi R., Ali T., Harinantenaina Rakotondraibe L. and Tholl D. Formation and exudation of non-volatile products of the arbidiol triterpenoid degradation pathway in *Arabidopsis* roots. *Plant Signaling and Behavior*. 2017. Vol. 12. P. 1265722. DOI: <https://doi.org/10.1080/15592324.2016.1265722>
20. Ruiz C., Nadal A., Foix L. et al. Diversity of plant defense elicitor peptides within the *Rosaceae*. *BMC Genetics*. 2018. Vol. 19. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12863-017-0593-4>
21. Peyraud R., Dubiella U., Barbacci A. et al. Advances on plant-pathogen interactions from molecular toward systems biology perspectives. *The Plant journal: for cell and molecular biology*. 2017. Vol. 90. P. 720–737. DOI: <https://doi.org/10.1111/tpj.13429>
22. Rosier A., Medeiros F.H. and Bais H.P. Defining plant growth promoting rhizobacteria molecular and biochemical networks in beneficial plant-microbe interactions. *Plant Soil*. 2018. Vol. 428. P. 35–55. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3679-5>
23. Парфенюк А.І. Сорт рослин як чинник біологічної безпеки в агроенезах України. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 2. С. 155–163.
24. Rasmann S., Bennett A., Biere A. et al. Root symbionts: powerful drivers of plant above- and below-ground indirect defences. *Insect Science*. 2017. Vol. 24. P. 947–960. DOI: <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12464>
25. Amb M.K. and Ahluwalia A.S. Allelopathy: potential role to achieve new milestones in rice cultivation. *Rice Science*. 2016. Vol. 23. P. 165–183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.06.001>
26. Bais H.P., Tiffany L., Weir L.T. et al. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plant and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*. 2006. Vol. 57. P. 233–266. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159>
27. Miozzi L., Vaira A.M., Catoni M. et al. Arbuscular mycorrhizal symbiosis: plant friend or foe in the fight against viruses? *Frontiers in Microbiology*. 2019. Vol. 10. P. 1238. DOI: <http://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01238>
28. Zúñiga A., Donoso R.A., Ruiz D. et al. Quorum Sensing systems in the plant growth-promoting bacterium *Paraburkholderia* phytofirmans PsJN exhibit cross-regulation and are involved in biofilm formation. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2017. Vol. 30. P. 557–565. DOI: <https://doi.org/10.1094/MPMI-01-17-0008-R>
29. McCormick S. Rhizobial strain-dependent restriction of nitrogen fixation in a legume-rhizobium symbiosis. *Plant Journal*. 2018. Vol. 93. P. 3–4. DOI: <http://doi.org/10.1111/tpj.13791>
30. Arunachalam S., Schwinghamer T., Dutilleul P. and Smith D.L. Multiyear effects of biochar, lipo-chitooligosaccharide, thuricin 17, and experimental biofertilizer for switchgrass. *Agronomy Journal*. 2018. Vol. 110. P. 77–84. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.05.0278>
31. Jiang D., Tan M., Wu S. et al. Defense responses of arbuscular mycorrhizal fungus-colonized poplar seedlings against gypsy moth larvae: a multiomics study. *Horticultural Research*. 2021. Vol. 8. P. 245. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00671-3>
32. Ahemad M. and Khan M.S. Effect of pesticides on plant growth promoting traits of green gram-symbiont, *Bradyrhizobium* sp. strain MRM6. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2011. Vol. 86. P. 384–388. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00128-011-0231-1>
33. Tiwari S. and Lata C. Heavy Metal Stress, Signaling, and Tolerance Due to Plant-Associated Microbes: An Overview. *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. P. 452. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00452>
34. Chauhan D., Yadav V., Vaculik M. et al. Aluminum toxicity and aluminum stress-induced physiological tolerance responses in higher plants. *Critical Reviews in Biotechnology*. 2021. Vol. 41. P. 715–730. DOI: <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1874282>

REFERENCES

1. Kong, X.X., Luo, L.D., Zhao, J.J. et al. (2019). Expression of Frigida in root inhibits flowering in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*, 70, 5101–5114. DOI: <http://doi.org/10.1093/jxb/erz287> [in English].
2. Туровник, Я.А., Парфенюк, А.І., Дем'янюк, О.С. & Безноско, І.В. (2020). Korenevi ekzometabolity roshlyn sonyashnyku yak faktor vplyvu na zhyttye-zdatnist' fitopatohennoho hryba *Alternaria alternata* (Fr.) Keiss. [Root exometabolites of sunflower plants as a factor affecting the viability of the phytopathogenic fungus *Alternaria alternata* (Fr.) Keiss.]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannya – Balanced nature management*, 1, 102–107. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2020.203937> [in Ukrainian].
3. Shrestha, A., Grimm, M., Ojiro, I. et al. (2020). Impact of Quorum Sensing Molecules on Plant Growth and Immune System. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1545. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01545> [in English].
4. Scavo, A., Restuccia, A. & Mauromicale, G. (2018). Allelopathy: Principles and Basic Aspects for Agroecosystem Control. *Springer – Sustainable Agriculture Reviews*, 28. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-90309-5_2 [in English].
5. Zaimenko, N.V. (Ed.). (2021). *Suchasni metody v alopatychnykh doslidzhenniakh. Metodychnyi posibnyk [Modern methods in allelopathic research. Methodical manual]*. Kyiv [in Ukrainian].
6. Li, B., Li, Y.Y., Wu, H.M. et al. (2016). Root exudates drive interspecific facilitation by enhancing nodula-

- tion and N₂ fixation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113, 6496–6501. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1523580113> [in English].
7. Kong, C.H., Zhang, S.Z., Li, Y.H. et al. (2018). Plant neighbor detection and allelochemical response are driven by root-secreted signaling chemicals. *Nature Communications*, 9, 3867. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06429-1> [in English].
 8. Novoplansky, A. (2019). What plant roots know? *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 92, 126–133. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.semcdb.2019.03.009> [in English].
 9. Zhalnina, K., Louie, K.B., Hao, Z. et al. (2018). Dynamic root exudate chemistry and microbial substrate preferences drive patterns in rhizosphere microbial community assembly. *Nature Microbiology*, 3, 470–480. DOI: <http://doi.org/10.1038/s41564-018-0129-3> [in English].
 10. Jacoby, R.P., Chen, L., Schwier, M. et al. (2020). Recent advances in the role of plant metabolites in shaping the root microbiome. *F1000Research*, F1000, Faculty Rev-151. DOI: <https://doi.org/10.12688/f1000research.21796.1> [in English].
 11. Vranova, V., Rejsek, K., Skene, K.R. et al. (2013). Methods of collection of plant root exudates in relation to plant metabolism and purpose: a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176, 175–199. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.2010003> [in English].
 12. Pausch, J. & Kuzyakov, Y. (2018). Carbon input by roots into the soil: quantification of rhizodeposition from root to ecosystem scale. *Global Change Biology*, 24, 1–12. DOI: <http://doi.org/10.1111/gcb.13850> [in English].
 13. Di Benedetto, N.A., Corbo, M.R., Campaniello, D. et al. (2017). The role of plant growth promoting bacteria in improving nitrogen use efficiency for sustainable crop production: a focus on wheat. *AIMS Microbiology*, 3, 413–434. DOI: <https://doi.org/10.3934/microbiol.2017.3.413> [in English].
 14. Benocci, T., Aguilar-Pontes, M.V., Zhou, M. et al. (2017). Regulators of plant biomass degradation in ascomycetous fungi. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 10, 152. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0841-x> [in English].
 15. Lakshmanan, V., Selvaraj, G. & Bais, H.P. (2014). Functional soil microbiome: belowground solutions to an aboveground problem. *Journal of Plant Physiology*, 166, 689–700. DOI: <http://doi.org/10.1104/pp.114.245811> [in English].
 16. Catherine, M.-B. & Joel, L.S. (2018). Symbiotic nitrogen fixation by rhizobia — the roots of a success story. *Plant Journal*, 44, 7–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.12.001> [in English].
 17. Jiao, Y., Wang, E., Chen, W. & Smith, D.L. (2017). Complex interactions in legume/cereal intercropping system: role of root exudates in root-to-root communication. *bioRxiv*, 097584. DOI: <https://doi.org/10.1101/097584> [in English].
 18. Rizaludin, M.S., Stopnisek, N., Raaijmakers, J.M. & Garbeva, P. (2021). The Chemistry of Stress: Understanding the 'Cry for Help' of Plant Roots. *Metabolites*, 11 (6), 357. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo11060357> [in English].
 19. Sohrabi, R., Ali, T., Harinantenaina Rakotondraibe, L. & Tholl, D. (2017). Formation and exudation of non-volatile products of the arabinol triterpenoid degradation pathway in *Arabidopsis* roots. *Plant Signaling and Behavior*, 12, 1265722. DOI: <https://doi.org/10.1080/15592324.2016.1265722> [in English].
 20. Ruiz, C., Nadal, A., Foix, L. et al. (2018). Diversity of plant defense elicitor peptides within the Rosaceae. *BMC Genetics*, 19, 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12863-017-0593-4> [in English].
 21. Peyraud, R., Dubiella, U., Barbacci, A. et al. (2017). Advances on plant-pathogen interactions from molecular toward systems biology perspectives. *The Plant journal: for cell and molecular biology*, 90, 720–737. DOI: <https://doi.org/10.1111/tpj.13429> [in English].
 22. Rosier, A., Medeiros, F.H. & Bais, H.P. (2018). Defining plant growth promoting rhizobacteria molecular and biochemical networks in beneficial plant-microbe interactions. *Plant Soil*, 428, 35–55. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3679-5> [in English].
 23. Parfenyuk, A.I. (2017). Sort roslyn yak chynnyk biolohichnoyi bezpeky v ahrotsenozakh Ukrainy [Plant variety as a factor of biological safety in agrocenoses of Ukraine]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal*, 2, 155–163 [in Ukrainian].
 24. Rasmann, S., Bennett, A., Biere, A. et al. (2017). Root symbionts: powerful drivers of plant above- and belowground indirect defences. *Insect Science*, 24, 947–960. DOI: <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12464> [in English].
 25. Amb, M.K. & Ahluwalia, A.S. (2016). Allelopathy: potential role to achieve new milestones in rice cultivation. *Rice Science*, 23, 165–183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.06.001> [in English].
 26. Bais, H.P., Tiffany, L., Weir, L.T. et al. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plant and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 233–266. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159> [in English].
 27. Miozzi, L., Vaira, A.M., Catoni, M. et al. (2019). Arbuscular mycorrhizal symbiosis: plant friend or foe in the fight against viruses? *Frontiers in Microbiology*, 10, 1238. DOI: <http://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01238> [in English].
 28. Zúñiga, A., Donoso, R.A., Ruiz, D. et al. (2017). QuorumSensing systems in the plant growth-promoting bacterium *Paraburkholderia phytofirmans* PsJN exhibit cross-regulation and are involved in biofilm formation. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 30, 557–565. DOI: <https://doi.org/10.1094/MPMI-01-17-0008-R> [in English].
 29. McCormick, S. (2018). Rhizobial strain-dependent restriction of nitrogen fixation in a legume-rhizobium symbiosis. *Plant Journal*, 93, 3–4. DOI: <http://doi.org/10.1111/tpj.13791> [in English].
 30. Arunachalam, S., Schwingamer, T., Dutilleul, P.

- & Smith, D.L. (2018). Multiyear effects of biochar, lipo-chitooligosaccharide, thuricin 17, and experimental bio-fertilizer for switchgrass. *Agronomy Journal*, 110, 77–84. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.05.0278> [in English].
31. Jiang, D., Tan, M., Wu, S. et al. (2021). Defense responses of arbuscular mycorrhizal fungus-colonized poplar seedlings against gypsy moth larvae: a multiomics study. *Horticultural Research*, 8, 245. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00671-3> [in English].
32. Ahemad, M. & Khan, M.S. (2011). Effect of pesticides on plant growth promoting traits of green gram-symbiont, Bradyrhizobium sp. strain MRM6. *Bull Environ Contam Toxicol*, 86, 384–388. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00128-011-0231-1> [in English].
33. Tiwari, S. & Lata, C. (2018). Heavy Metal Stress, Signaling, and Tolerance Due to Plant-Associated Microbes: An Overview. *Frontiers in Plant Science*, 9, 452. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00452> [in English].
34. Chauhan, D., Yadav, V., Vaculik, M. et al. (2021). Aluminum toxicity and aluminum stress-induced physiological tolerance responses in higher plants. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41, 715–730. DOI: <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1874282> [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 03.06.2022

БІОЛОГІЗОВАНІ АГРОПРИЙОМИ ЯК ОСНОВА СТАЛОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ АГРОБІОЦЕНОЗУ ХМЕЛЕПЛАНТАЦІЇ

О.П. Стецюк¹, Л.П. Кириченко¹, В.І. Ратошнюк¹,
І.П. Штанько¹, В.В. Любченко¹, Ю.М. Гльїнський²

¹ 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: viktor.ratoshnyuk@ukr.net; ORCID: 0000-0001-6937-7541

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

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

² Житомирський агротехнічний фаховий коледж (м. Житомир, Україна)

e-mail: ilinskyi@ukr.net; ORCID: 0000-0002-5301-6714

Інтенсивний технологічний процес вирощування хмелю традиційно передбачає утримання міжрядь хмеленасаджень у стані, вільному від рослинності за рахунок міжрядніх культиваций. Це зумовлює до порушення природного процесу відтворення родючості ґрунту, зниження стабільності функціонування та продуктивності агробіоценозу. У хмелярстві проблему сталості хумулоценозу вітчизняні та зарубіжні вчені частково вирішують шляхом сидерації міжрядь, що дає можливість поповнити запаси органічної речовини ґрунту в умовах дефіциту органічних добрив та зменшити антропогенний тиск на довкілля. Це питання вивчається більш широко, і публікації на цю тему зустрічаються у фахових виданнях. Однак фактично невисвітленою є проблема застосування травосумішок для залуження міжрядь як з точки зору впливу на фактор родючості ґрунту, водно-фізичні та хімічні властивості, так і на продуктивність хмелю. Мета досліджень полягає у розробленні основних агроекологічних складових сталого функціонування агробіоценозу хмеленасаджень із метою запобігання детеріорації внаслідок антропогенного навантаження. Методи досліджень — польові, лабораторні, метеорологічні, статистичні. Встановлено, що ефективне функціонування агробіоценозу хмеленасаджень можна забезпечити енергоощадними регламентами застосування добрив, які базуються на: сидерації міжрядь (олійна редька) з внесенням 20 т/га перегною + $N_{180}P_{160}K_{220}$; подвійній сидерації міжрядь (редька олійна і люпин почергово) + $N_{100}P_{60}K_{120}$; залуженні міжрядь із внесенням 20 т/га перегною перед залуженням + $N_{180}P_{160}K_{220}$. При цьому урожайність шишок хмелю залишається на рівні загальноприйнятого регламенту застосування добрив, а на варіанті з сидерацією та внесенням 20 т/га перегною + $N_{180}P_{160}K_{220}$ має перевагу на 9–10%. Еколого-економічна ефективність свідчить про доцільність формування агробіоценозу хмеленасаджень, який ґрунтується на таких складових, як сидерація та залуження міжрядь. Він має менш затратний характер, наближує природний процес ґрунтовідновлення, а по рентабельності перевищує традиційну технологію на 1,0–10,5%.

Ключові слова: хміль, сидерати, залуження, ґрунт, альфа-кислоти.

ВСТУП

Внаслідок тривалого і систематично-го антропогенного навантаження на ґрунт під хмеленасадженнями (більше двадцяти механічних операцій, окремі в два сліди, та надвисокі норми органічних та мінеральних добрив, пестицидів) біогеоценоз

хмільника і прилеглі території зазнають надмірного антропогенного тиску. Імовірно, що і сам ґрунт під впливом вказаних факторів різко змінює свої якісні показники. Крім того, інтенсивний технологічний процес вирощування хмелю традиційно передбачає утримання міжрядь хмеленасаджень у стані, вільному від рослинності за рахунок міжрядніх культиваций. Це зу-

© О.П. Стецюк, Л.П. Кириченко, В.І. Ратошнюк,
І.П. Штанько, В.В. Любченко, Ю.М. Гльїнський, 2022

мовлює до порушення природного процесу відтворення родючості ґрунту, зниження стабільності функціонування та продуктивності агробіоценозу [1].

Сучасні світові тенденції у землеробстві вимагають впровадження нових, біоекологічних агроприймів, що зменшують навантаження на агробіоценоз. Серед них — мінімізація механічного та хімічного впливу на ґрунт аж до повної відмови від проведення більшості заходів, підтримання постійного рослинного покриву на поверхні ґрунту. Використання агротехнологій із елементами біологізації на вітчизняних хмеленасадженнях є питанням недослідженим і потребує розширеного і поглибленого вивчення [2; 3].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Інтенсивні технології, що широко впроваджуються в аграрному секторі економіки, у своїй більшості несуть негативне навантаження навколишньому середовищу загалом і агробіоценозу зокрема [4]. Особливо це стосується культур, які потребують значного антропогенного втручання з метою реалізації технологічного процесу в плані удобрення, захисту рослин та обробітку ґрунту, зокрема соняшник (*Helianthus annuus*), буряк цукровий (*Beta vulgaris saccharifera*), кукурудза (*Zea mays*), соя (*Glycine max Moench*) та ін. У цьому списку окремо слід назвати виноград (*Vitis*) і хміль (*Humulus L.*). Фундаментальною проблемою екології ампелоценозів є деструктивні зміни функціонального стану рослин в умовах зростаючого різнотипового антропогенного впливу. Ці зміни проявляються у вигляді деградації родючості ґрунту, погіршенню хімічних та водно-фізичних властивостей у зонах основного промислового виробництва винограду [5].

Одним зі шляхів природного відновлення родючості ґрунту виноградників є використання біологічної системи його утримання, основу якого становить травосіяння. Виконуючи ґрунтоутворювальну роль, такий спосіб утримання ґрунту спря-

мований на використання відновлюваних природних джерел енергії, акумуляцію її в складові ґрунтової родючості, трансформацію в урожай [6].

У США покривні культури на виноградниках інтенсивно використовують з 90-х років ХХ ст. Системи землеробства з використанням однорічних та багаторічних покривних культур успішно замінили старі енергоємні системи землеробства. Ефективним виявилось утримання частини міжрядь під багаторічними травами, які у міру відростання скошуються косаркою. Навколо рослин винограду ґрунт обробляється, щоб уникнути конкуренції за воду і поживні речовини [7; 8].

Культура хміль (*Humulus L.*) за своїми технологічними особливостями є певною мірою близькою до культури виноград. Тому екологічні проблеми в ампелоценозі близькі до таких самих у агробіоценозі хмеленасаджень (хумулоценозі).

У хмелярстві проблему сталості хумулоценозу вітчизняні та зарубіжні вчені частково вирішують шляхом сидерації міжрядь, що дає можливість поповнити запаси органічної речовини ґрунту в умовах дефіциту органічних добрив та зменшити антропогенний тиск на довкілля. Це питання вивчається більш широко, і публікації на цю тему зустрічаються у фахових виданнях. Однак фактично невисвітленою є проблема застосування травосумішок для залуження міжрядь як з точки зору впливу на фактор родючості ґрунту, водно-фізичні та хімічні властивості, так і на продуктивність хмелю. Однак у Новій Зеландії Том Інґліс із групою вчених досліджують органічне хмелярство з вирощуванням суміші трав вівса і конюшини як ґрунтопокривної міжрядами хмелю з періодичним скошуванням і мульчуванням міжрядь, що сприяє стабілізації гумусу та накопиченню азоту. При цьому, урожайність культури зменшується, але вміст альфа-кислот залишається на тому самому рівні, що і за традиційних технологій. В цілому сегменті вартість такого хмелю дещо вища, проте попит стабільний і його економічно вигідно вирощувати [9].

У той самий час у вітчизняній науковій літературі відсутні дані щодо вивчення цієї проблеми. Тому питання з дослідження критеріїв сталого функціонування агробіоценозу хмеленасаджень є актуальним, проте мало вивченим.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження здійснювались впродовж 2011–2015 рр. на хмелеплантації № 221 Інституту сільського господарства Полісся НААН.

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

Дослідна ділянка розташована на дерново-підзолистому супіщаному ґрунті.

Органічні добрива — перегній, сидеральні культури. Серед однорічних застосовувались: редька олійна — варіанти 5,6; комбінація редька олійна+люпин вузьколистий (висівались в третій декаді квітня) та гірчиця (висівалась в третій декаді серпня) — варіанти 7,8. Зароблялась у ґрунт зелена маса у другій декаді червня — першій декаді липня залежно від культури за допомогою дискових знарядь (з одночасним підгортанням рослин у рядку). Висів гірчиці як повторної сидеральної культури застосовується як варіант біологічного обробітку ґрунту (осінній основний обробіток ґрунту не проводиться).

Мінеральні добрива: — аміачна селітра 34%; гранульований суперфосфат 20%; калімагnezія 29%.

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 шишок хмелю з урахуванням біологічних особливостей сорту.

Спосіб внесення добрив — локально в борозну, рано навесні в період розорювання гребенів, перед обрізкою маток хмелю, і підживлення азотом у період вегетації рослин згідно зі схемою досліджень.

Для залуження міжрядь були висіяні багаторічні трави: райграс пасовищний

(*Lolium perenne* L.), тонконіг лучний (*Poa pratensis*), вівсяниця червона (*Festuca rubra* L.), конюшина біла (*Trifolium repens*) у співвідношенні — 2:1:1:1.

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

Схема досліді включає такі варіанти:

- 1) без добрив;
- 2) гній 40 т/га + N₁₈₀P₁₆₀K₂₂₀;
- 3) залуження + N₁₈₀P₁₆₀K₂₂₀;
- 4) залуження + гній 20 т/га + N₁₈₀P₁₆₀K₂₂₀;
- 5) сидерат + N₁₈₀P₁₆₀K₂₂₀;
- 6) сидерат + гній 20 т/га + N₁₈₀P₁₆₀K₂₂₀;
- 7) подвійна сидерація + N₁₄₀P₈₀K₁₆₀;
- 8) подвійна сидерація + N₁₀₀P₆₀K₁₂₀.

Перегній вносимо періодично, через рік.

Сорт хмелю Промінь, гіркий, середньостиглий. Розмір дослідної ділянки (варіанта) — 30 м², облікової — 24 м². Площа живлення рослин 3×1 м. Повторність досліді — чотириразова.

Вісім (8) варіантів досліді розміщено систематично, двома блоками в чотирьох повтореннях. Блок 1 включає 2 повних набори варіантів і блок 2 включає 2 повних набори варіантів.

Для агрохімічної оцінки ґрунту перед закладанням відбиралися зразки з трьох горизонтів: 0–20 см; 21–40; 41–60 см.

У період збирання врожаю відбирають зразки ґрунту з трьох горизонтів кожного варіанта для агрохімічного аналізу. В цей самий період відбираються зразки шишок по варіантах досліді для визначення їх якості.

У зразках шишок передбачається визначення вмісту альфа-кислот кондуктометричним методом згідно з чинною нормативною документацією.

У зразках ґрунту визначаються такі агрохімічні показники: гумус — за Тюриним (перед закладанням досліді, перед черговим внесенням органічних добрив); органічна речовина — методом спалювання (перед закладанням досліді, перед черговим внесенням органічних добрив);

pH_{сол.} та гідролітична кислотність — потенціометрично; азот лужногідролізований — за Корнфілдом; фосфор та калій — методом Кірсанова.

**РЕЗУЛЬТАТИ
ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ**

Вихідні дані якісних показників дерново-підзолистого ґрунту, одержані на початку закладання полігону досліджень, свідчать про доволі низький вміст гумусу в 0–20 см шарі ґрунту — до 1,19% та до 0,58% в абсолютних одиницях у 20–40 см шарі, дещо підвищену кислотність (рН 4,4–5,2), середню забезпеченість фосфором (246–335 мг/кг ґрунту) та дуже

низьку забезпеченість обмінним калієм (41–84 мг/кг ґрунту), а також загальний вміст органічної речовини коливався в межах 0,70–1,30% (табл. 1).

Результати, одержані по закінченні наших досліджень, дають змогу стверджувати, що окремі якісні показники дерново-підзолистого ґрунту за п'ятирічний період дещо змінилися від системи удобрення культури *Humulus L.*, та способу утримання міжрядь (табл. 2).

Якщо величина гумусу практично залишалась стабільною на всіх варіантах удобрення, крім контролю, то загальний вміст органічної речовини дещо диференціювався. Так, в абсолютних показниках

Таблиця 1. Агрохімічні показники ґрунту пл. № 221 (відбір — весна 2011 р.)

| Шар, см | Гумус, % | Органічна речовина, % | pH _{сол.} | Нг | S | N _{гідр.} , мг/кг | P ₂ O ₅ , мг/кг | K ₂ O, мг/кг |
|---------|----------|-----------------------|--------------------|--------------|-----|----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| | | | | мг-екв/100 г | | | | |
| 0–20 | 1,19 | 1,30 | 5,2 | 0,95 | 1,6 | 104 | 335 | 84 |
| 20–40 | 0,58 | 0,70 | 4,4 | 0,69 | 0,1 | 59 | 246 | 41 |

Таблиця 2. Динаміка гумусу та органічної речовини за 2011–2015 рр.

| № в-та | Шар ґрунту, см | Гумус, % | | | Органічна речовина, % | | |
|--------|----------------|----------------|----------------|-------|-----------------------|----------------|------|
| | | відбір 2011 р. | відбір 2015 р. | +/- | відбір 2011 р. | відбір 2015 р. | +/- |
| 1 | 0–20 | 1,19 | 1,15 | -0,04 | 1,3 | 1,1 | -0,2 |
| | 20–40 | 0,58 | 0,54 | -0,04 | 0,7 | 0,5 | -0,2 |
| 2 | 0–20 | 1,19 | 1,21 | +0,02 | 1,3 | 1,6 | +0,3 |
| | 20–40 | 0,58 | 0,59 | +0,01 | 0,7 | 0,8 | +0,2 |
| 3 | 0–20 | 1,19 | 1,19 | — | 1,3 | 1,5 | +0,2 |
| | 20–40 | 0,58 | 0,58 | — | 0,7 | 0,7 | — |
| 4 | 0–20 | 1,19 | 1,20 | +0,01 | 1,3 | 1,7 | +0,4 |
| | 20–40 | 0,58 | 0,60 | +0,02 | 0,7 | 0,7 | — |
| 5 | 0–20 | 1,19 | 1,19 | — | 1,3 | 1,6 | +0,3 |
| | 20–40 | 0,58 | 0,60 | +0,02 | 0,7 | 0,8 | +0,5 |
| 6 | 0–20 | 1,19 | 1,23 | +0,04 | 1,3 | 1,8 | +0,5 |
| | 20–40 | 0,58 | 0,62 | +0,04 | 0,7 | 0,9 | +0,2 |
| 7 | 0–20 | 1,19 | 1,22 | +0,03 | 1,3 | 1,9 | +0,6 |
| | 20–40 | 0,58 | 0,61 | +0,03 | 0,7 | 0,9 | +0,2 |
| 8 | 0–20 | 1,19 | 1,22 | +0,03 | 1,3 | 1,8 | +0,5 |
| | 20–40 | 0,58 | 0,61 | +0,03 | 0,7 | 0,8 | +0,1 |

він мав значну перевагу над контрольним варіантом (без добрив), майже рівними по значенню були варіанти 2, 4, 6, яким поступався варіант 3, і спостерігається тенденція до збільшення вмісту органіки на варіантах 7 і 8 порівняно з усіма, що вивчалися.

Кислотність ґрунту має свої особливості, вона далека від оптимальної на всіх варіантах, і спостерігається тенденція до її підвищення. Найменшому негативному впливу щодо підвищення кислотності піддався варіант 1 (без добрив). Це можливо пояснити лише одним — удобрені варіанти мали значне навантаження азотними добривами, зокрема аміачною селітрою, яка, як відомо, має ефект підкислення ґрунтів (табл. 3).

Щодо вмісту легкогідролізованого азоту, то слід відмітити позитивну тенденцію до його накопичення на варіантах 3, 4, 7 і 8, що, імовірно, пов'язано зі включенням бобових (конюшина біла та люпин) в систему удобрення. Маємо різке зниження легкогідролізованого азоту на варіанті без добрив,

та практично на одному рівні з вихідними показниками на всіх інших варіантах.

Рухомий фосфор та калій у наших дослідженнях — це ті два елементи, вміст яких на удобрених варіантах у ґрунті по закінченні досліджень зріс порівняно з вихідними показниками. Імовірно, це пов'язано з тим, що продуктивність хмелю за період досліджень була досить посередньою, оскільки несприятливий температурно-вологий режим та висока кислотність не дали змоги повністю реалізувати потенціал хмелю сорту Промінь, і тому ці два елементи живлення (особливо фосфор) залишились зв'язаними ґрунтово-поглинальним комплексом.

Отже, агроекологічні ресурси хмелеплантації по критерію якісних показників ґрунту мають доволі посередній потенціал і для сталого функціонування агробіоценозу хмеленасаджень потребують системного і щосезонного надходження енергетичних ресурсів у формі органіки та мінеральних елементів живлення.

Таблиця 3. Агрохімічні показники ґрунту пл. № 221 (відбір — осінь 2015 р.)

| № в-та | Шар ґрунту, см | pH _{сол.} | Нг | | N _{гідр.} , мг/кг | P ₂ O ₅ , мг/кг | K ₂ O, мг/кг |
|--------|----------------|--------------------|--------------|-----|----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| | | | мг-екв/100 г | | | | |
| 1 | 0–20 | 5,2 | 0,98 | 1,2 | 50 | 115 | 50 |
| | 20–40 | 4,2 | 0,72 | 0,4 | 29 | 100 | 20 |
| 2 | 0–20 | 4,8 | 0,95 | 1,7 | 112 | 355 | 152 |
| | 20–40 | 4,1 | 0,73 | 0,1 | 60 | 230 | 83 |
| 3 | 0–20 | 4,9 | 1,00 | 1,8 | 157 | 335 | 161 |
| | 20–40 | 3,9 | 0,77 | 0,4 | 73 | 225 | 72 |
| 4 | 0–20 | 4,9 | 1,03 | 2,0 | 146 | 388 | 168 |
| | 20–40 | 4,1 | 0,80 | 0,2 | 78 | 265 | 91 |
| 5 | 0–20 | 4,8 | 1,13 | 2,0 | 112 | 345 | 150 |
| | 20–40 | 3,9 | 0,77 | 0,4 | 63 | 245 | 80 |
| 6 | 0–20 | 4,9 | 1,13 | 2,4 | 109 | 380 | 163 |
| | 20–40 | 3,9 | 0,83 | 0,1 | 62 | 285 | 90 |
| 7 | 0–20 | 5,0 | 1,03 | 2,0 | 164 | 375 | 170 |
| | 20–40 | 4,0 | 0,74 | 0,1 | 87 | 283 | 84 |
| 8 | 0–20 | 5,0 | 1,11 | 2,0 | 159 | 353 | 169 |
| | 20–40 | 4,1 | 0,90 | 0,1 | 89 | 273 | 90 |

Досліджені особливості живлення свідчать, що культура хмелю загалом досить вимоглива до родючості ґрунту. З елементів живлення найбільше потребує азоту, далі йде калій та фосфор. Однак коефіцієнт використання та винос їх рослинами напряму залежить від умов зволоження.

Що ж стосується продуктивного впливу деяких технологічних заходів, наприклад, технологій утримання ґрунту у міжряддях, то дослідження в цьому напрямі в галузі хмелярства досить обмежені. Лише окремі автори відзначають певний позитивний вплив альтернативних технологій, зокрема сидерації, при вирощуванні цієї культури. З'ясовано, що його вплив у більшості випадків є менш істотним порівняно з традиційним використанням гною та утриманням міжрядь під чорним паром. Перевага альтернативних технологій більш чітко проявляється в енергетичних та економічних показниках, зокрема економії трудових і фінансових ресурсів, техніки й паливно-мастильних матеріалів, забезпеченні більшої оперативності виконання польових робіт [10], а також зменшенні ризику розвитку водної та вітрової ерозії, покращанні агрофізичних і агрохімічних властивостей ґрунту.

Урожайність зеленої маси сидератів весняного висіву в 2015 р. залежно від варіанта і культури становила 13,98–

18,24 т/га. Трави за два укоси сформували 4,02 і 4,50 т/га. У перерахунку на суху біомасу в верхній шар ґрунту надійшло 0,71–3,5 т/га (табл. 4).

Наші дослідження (табл. 5) вказують на домінування удобрення серед інших чинників впливу на урожайність хмелю. Всі удобрені варіанти мають значну перевагу перед абсолютним контролем (121,4–235,7%).

Внесення зменшеної удвічі дози гною за умов додаткового надходження органічної маси із сидератом або зеленою масою трав за ефективністю не тільки не поступаються традиційній системі удобрення, але й перевищують її. Також позитивний ефект принесло накопичення органічної речовини на варіанті з подвійною сидерацією та внесенням мінеральних добрив.

Ця тенденція підтверджується загалом за п'ять років досліджень — найефективнішими за урожайністю виявились варіанти з додатковим надходженням органічної маси — 4, 6 та 7, проте варіанти 4 і 7 незначно поступалися загальноприйнятій технології. Однак зрештою за рахунок підвищеного вмісту валовий збір альфакислот (варіанти 4 і 6) мав певну перевагу, що позначилось на еколого-економічній ефективності вирощування хмелю.

Humulus L. є однією з основних, нічим незамінною і найбільш дорогою специфіч-

Таблиця 4. Ефективність застосування залуження та сидерації міжрядь, 2015 р. (без урахування кореневих решток)

| Варіант | Культура ¹ | Час висіву | Норма висіву, кг/га | Кількість зеленої маси | | |
|---------|----------------------------------|------------|---------------------|--------------------------|----------------|------------|
| | | | | на 1 м ² , кг | на ділянці, кг | на 1 га, т |
| 3 | Багаторічні трави ² | — | — | 0,67 | 12,06 | 4,02 |
| 4 | Багаторічні трави ² | — | — | 0,75 | 13,50 | 4,50 |
| 5 | Редька олійна | I дек. 05. | 15 | 2,39 | 43,02 | 14,34 |
| 6 | Редька олійна | I дек. 05. | 15 | 2,69 | 48,42 | 16,14 |
| 7 | Редька олійна люпин вузьколистий | I дек. 05. | 15 | 3,04 | 54,72 | 18,24 |
| | | | 160 | 2,40 | 43,20 | 14,40 |
| 8 | Редька олійна люпин вузьколистий | I дек. 05. | 15 | 2,55 | 45,90 | 15,30 |
| | | | 160 | 2,33 | 41,94 | 13,98 |

Примітки: ¹ Займають близько 60% площі хмелешпалери. ² Разом за два укоси.

Таблиця 5. Урожайність сухих шишок хмелю, 2011–2015 рр.

| № з/п | Варіанти дослідю | Урожайність, т/га | | | | | | Відхилення від абс. контролю ± | | Відхилення від контролю ± | |
|-------------------|---|-------------------|------|------|------|------|---------|--------------------------------|------|---------------------------|-------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | середнє | т/га | % | т/га | % |
| 1 | Без добрив (абс. контроль) | 1,14 | 1,08 | 1,00 | 0,90 | 0,42 | 0,91 | — | — | — | — |
| 2 | N ₁₈₀ P ₁₆₀ K ₂₂₀ + перегній 40 т/га (контроль) | 1,44 | 1,81 | 1,88 | 1,61 | 1,10 | 1,57 | 0,66 | 72,5 | — | — |
| 3 | N ₁₈₀ P ₁₆₀ K ₂₂₀ + залуження міжрядь | 1,18 | 1,42 | 1,40 | 1,43 | 0,93 | 1,27 | 0,36 | 39,6 | -0,3 | -19,1 |
| 4 | N ₁₈₀ P ₁₆₀ K ₂₂₀ + перегній 20 т/га + залуження міжрядь | 1,25 | 1,78 | 1,65 | 1,68 | 1,17 | 1,50 | 0,59 | 64,8 | -0,07 | -4,4 |
| 5 | N ₁₈₀ P ₁₆₀ K ₂₂₀ + сидерація | 1,29 | 1,63 | 1,56 | 1,59 | 1,09 | 1,43 | 0,52 | 57,1 | -0,14 | -8,9 |
| 6 | N ₁₈₀ P ₁₆₀ K ₂₂₀ + перегній 20 т/га + сидерація | 1,35 | 1,80 | 1,82 | 1,88 | 1,41 | 1,65 | 0,74 | 81,3 | 0,08 | +5,0 |
| 7 | N ₁₄₀ P ₈₀ K ₁₆₀ + подвійна сидерація | 1,33 | 1,75 | 1,46 | 1,61 | 1,14 | 1,46 | 0,55 | 60,4 | -0,11 | -7,0 |
| 8 | N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + подвійна сидерація | 1,27 | 1,60 | 1,39 | 1,42 | 1,02 | 1,34 | 0,43 | 47,2 | -0,23 | -14,6 |
| НІР ₀₅ | | 0,04 | 0,02 | 0,06 | 0,07 | 0,05 | | | | | |

ною сировиною для виробництва пива. Це обумовлено тим, що у шишках хмелю міститься унікальний комплекс гірких речовин – поліфенолів, ефірних масел і біологічно активних сполук, що визначають не тільки смакові й ароматичні, але і антибіотичні, антиоксидантні та лікувальні властивості. Саме вони надають пиву характерний специфічний смак і аромат, беруть участь в освітленні напою, утворенні піни і, маючи антибіотичні властивості, підвищують стійкість пива під час зберігання.

Біохімічний склад шишок може коливатися, і значно залежить від сорту, погодних умов в період вегетації, системи удобрення, строків збирання та післязбиральної обробки. Найбільш цінним для пивоваріння і визначальним при оцінці якості та вар-

тості хмелесировини компонентом серед гірких речовин є альфа-кислоти. Тому від якості шишок, тобто вмісту в них альфа-кислот, залежить не тільки якість пива, а також ефективність виробництва хмелю у господарстві.

Результати наших досліджень щодо якості врожаю виявили закономірності її формування залежно від чинників, що вивчали. Так, системи удобрення, які були застосовані на дерново-підзолистому супіщаному ґрунті, по-різному впливали на вміст альфа-кислот в шишках. Головна ж особливість полягає в тому, що відсутність удобрення сприяє незначному накопиченню альфа-кислот, а застосування традиційної системи удобрення (контроль) зумовлює дещо нижчу інтенсивність утворення альфа-кислот у шишках хмелю. Порівняно

з абсолютним контролем за п'ять років у середньому вміст альфи мав нижчі показники на 12,7%.

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. Зокрема, однією з найбільш трудомістких операцій є обрізування головних кореневищ, на виконання якої затрачається понад 180 люд.-год/га щороку [11]. Враховуючи весь комплекс технологічних операцій маємо досить значні, порівняно зі сівозмінними культурами, затрати людської праці на одиницю площі хмільника і врожаю шишок хмелю. Крім того, захист хмелю від хвороб та шкідників передбачає до 7–9 технологічних операцій з обробки рослин агрохімікатами, що сягає майже 30% від витрат на вирощування цієї культури (без врахування витрат на збирання та первинну обробку шишок хмелю) [12–14].

Ефективність вирощування *Humulus L.* в середньому за 2011–2015 рр. загалом характеризується не досить високими показниками, що пов'язано з різким коливанням цін за цей період на світовому ринку хмелю. Однак витрати на виробництво хмелепродукції за умов застосування альтернативних технологій зменшувалися на 4,2–13,2%.

Еколого-економічна ефективність свідчить про доцільність формування агробіоценозу хмеленасаджень, який базується на таких складових, як сидерація та залуження міжрядь. Він має менш затратний характер, наближує природний процес ґрунтоновлення, а по рентабельності перевищує традиційну технологію на 1,0–10,5%.

ВИСНОВКИ

1. Ефективне функціонування агробіоценозу хмеленасаджень можна забезпечити енергоощадними регламентами застосування добрив, які базуються на: сидерації міжрядь (редька олійна) з внесенням 20 т/га перегною + $N_{180}P_{160}K_{220}$; подвійній сидерації міжрядь (редька олійна і люпин почергово) + $N_{100}P_{60}K_{120}$; залуженні міжрядь з внесенням 20 т/га перегною перед залуженням + $N_{180}P_{160}K_{220}$. При цьому, урожайність шишок хмелю (*Humulus L.*) залишається на рівні загальноприйнятого регламенту застосування добрив, а на варіанті з сидерацією та внесенням 20 т/га перегною + $N_{180}P_{160}K_{220}$ має перевагу на 9–10%.

2. Енергоощадні регламенти застосування добрив підвищують вміст альфакислот в шишках хмелю, порівняно з традиційним на 4–11 відсотків.

3. Якісні показники родючості дерновопідзолистого ґрунту потребують постійного і системного поповнення елементів живлення, бажано у формі традиційних органічних добрив та сидеральних культур у поєднанні з мінеральними добривами, а також за рахунок органічної маси багаторічних трав, що вирощуються у міжряддях хмеленасаджень.

4. Еколого-економічна ефективність свідчить про доцільність формування агробіоценозу хмеленасаджень, який базується на таких складових, як сидерація та залуження міжрядь. Він має менш затратний характер, наближує природний процес ґрунтоновлення, а по рентабельності перевищує традиційну технологію на 1,0–10,5%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Годованый А.А. Интенсивная технология возделывания хмеля: научно-методические рекомендации. Киев: «Урожай», 1994. 40 с.
2. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні: моногр. / за ред. М.К. Шпикули. Київ: «Оранта», 2000. 389 с.
3. Стецюк О.П., Кириченко Л.П., Шпакевич Л.Ю. Застосування технологій з елементами біологізації на хмеленасадженнях. *Сучасний стан і перспективи ефективного використання земельних ресурсів Житомирської області*: зб. ст. наук.-прак. конф. (м. Житомир, 20–21 січн. 2016 р.). Вид-во ЖДУ ім. І. Франка. С. 180–183.
4. Рижук С.М., Ратошнюк Т.М., Ратошнюк В.І. та ін. Концепція розвитку галузі хмелярства в Україні: науково-методичні рекомендації. Житомир: ПП «Рута», 2020. 48 с.
5. Власов В.В. Теоретическое обоснование формирования ампелоландшафтов. *Агроэкологический журнал*. 2009. № 1. С. 19–23.

6. Клименко О.Є., Клименко М.І., Акчурін О.Р., Клименко Н.М. Задернення міжряд і застосування бактеріальних препаратів для підвищення родючості ґрунту та продуктивності винограду. *Біологічні системи*. 2012. Т. 4. Вип. 2. С. 171–174.
7. McGourty Glenn T. Cover Cropping Systems for Organically Farmed Vineyards. *Practical Winery and Vineyard Magazine*. September/October 2004. P. 22–25.
8. Lockwood David. Chemical Weed Control in Vineyards. *Grapes*. June 20, 2019. URL: <https://grapes.extension.org/chemical-weed-control-in-vineyards/>
9. Inglis T., Knudsen F., Oldham D. et al. Organic hop production in New Zealand. *Brewing and Beverage Industry International*. 1996. No 1. P. 22–23.
10. Рижук С.М., Ратошнюк Т.М., Ратошнюк В.І. та ін. Концептуальні засади удосконалення ринкового регулювання розвитку вітчизняної галузі хмелярства. Житомир: ПП «Рута», 2018. 36 с.
11. Остроменський О.Б., Стецюк О.П., Михайлов М.Г. та ін. Ефективність вирощування хмелю без обрізування головних кореневищ. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 1. С. 150–156. DOI: <https://doi.org/10.33730/20774893.1.2021.227.253>
12. Рижук С.М., Ратошнюк Т.М., Штанько І.П. та ін. Типові ресурсозберігаючі технологічні проекти вирощування хмелю в зоні Полісся та Лісостепу України: науково-практичні рекомендації. Житомир: ПП «Рута». 2020. 68 с.
13. Venger O., Fedorchuk N., Klyuchevich M. and Stolyar S. Controlling the pests of hop seedlings. *Sciences of Europe*. 2021. № 66. P. 18–22.
14. Венгер О.В., Федорчук Н.А. Захист хмелю від первинної інфекції несправжньої борошністої роси. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 10. Т. 99. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202110-04>

REFERENCES

1. Godovanyj, A.A. (1994). *Intensivnaya tehnologiya vozdeljvaniya hmelya: nauchno-metodicheskiye rekomendatsii [Intensive hop cultivation technology: scientific and methodological recommendations]*. Kyiv [in Russian].
2. Shykuly, M.K. (Ed.) (2000). *Gruntozakhysna biolohichna sistema zemlerobstva v Ukraini: monohrafiya [Soil protection biological system of agriculture in Ukraine: monograph]*. Kyiv [in Ukrainian].
3. Stetsiuk, O.P., Kyrychenko, L.P. & Shpakevych, L.Y. (2016). Zastosuvannya tekhnolohii z elementamy biolohizatsii na khmelenasadzhenniakh [Application of technologies with elements of biologization on hop plantations]. *Suchasnyi stan i perspektivy efektyvnoho vykorystannia zemelnykh resursiv Zhytomyrskoi oblasti: zbirnyk statei naukovo-praktychnoi konferentsii [The current state and prospects of effective use of land resources of the Zhytomyr region: a collection of articles of the scientific and practical conference]*. (pp.180–183). Zhytomyr [in Ukrainian].
4. Ryzhuk, S.M., Ratoshnyuk, T.M., Ratoshnyuk, V.I. et al. (2020). *Kontseptsiya rozvytku haluzi khmeliarstva v Ukraini: naukovo-metodychni rekomendatsii [The concept of hop industry development in Ukraine: scientific and methodical recommendations]*. Zhytomyr [in Ukrainian].
5. Vlasov, V.V. (2009). Teoretycheskoe obosnovanye formyrovannya ampelolandshaftov [Theoretical basis for the formation of ampelolandshafts]. *Ahroekolohichni zhurnal – Agroecological journal*, 1, 19–23 [in Russian].
6. Klymenko, O.I., Klymenko, M.I., Akchurin, O.R. & Klymenko, N.M. (2012). Zadernennia mizhriadi i zastosuvannya bakterialnykh preparativ dlia pidvyshchennia rodiuchosti hruntu ta produktyvnosti vynohradnyka [Turving between rows and the use of bacterial preparations to improve soil fertility and vineyard productivity]. *Biolohichni systemy – Biological systems*, 4, 2, 171–174 [in Ukrainian].
7. McGourty, Glenn T. (2004). Cover Cropping Sys-
tems for Organically Farmed Vineyards. *Practical Winery & Vineyard Magazine*, 22–25 [in English].
8. Lockwood, David (2020). Chemical Weed Control in Vineyards. *Grapes*. URL: <https://grapes.extension.org/chemical-weed-control-in-vineyards/> [in English].
9. Inglis, T., Knudsen, F., Oldham, D. et al. (2006). Organic hop production in New Zealand. *Brewing and Beverage Industry International*, 1, 22–23 [in English].
10. Ryzhuk, S.M., Ratoshnyuk, T.M., Ratoshnyuk, V.I. et al. (2018). *Kontseptualni zasady udoskonalenia rynkovoho rehulivannia rozvytku vitchyzniano haluzi khmeliarstva [Conceptual principles of improving the market regulation of the development of the domestic hop industry]*. Zhytomyr [in Ukrainian].
11. Ostromenskiy, O.B., Stetsiuk, O.P., Mykhaylov, M.G. et al. (2021). Efektyvnist vyroshchuvannya khmeliu bez obrizuvannya holovnykh korenevyshech [Effective of hop growing without cutting of main roots depending upon the underground plant part]. *Ahroekolohichni zhurnal – Agroecological journal*, 1, 150–156 [in Ukrainian].
12. Ryzhuk, S.M., Ratoshnyuk, T.M., Shtanko, I.P. et al. (2020). *Typovi resursozberihaiuchi tekhnolohichni proekty vyroshchuvannya khmeliu v zoni Polissia ta Lisostepu Ukrainy: naukovo-praktychni rekomendatsii [Typical resource-saving technological projects of hop growing in the Polissya and Forest-Steppe zone of Ukraine]*. Zhytomyr [in Ukrainian].
13. Venger, O., Fedorchuk, N., Klyuchevich, M. & Stolyar, S. (2021). Sontrolling the pests of hop seedlings. *Sciences of Europe*, 66, 18–22 [in English].
14. Venher, O.V. & Fedorchuk, N.A. (2021). Zakhyst khmeliu vid pervynnoi infektsii nespravzhnoi boroshnystoi rosy [Protection of hops from primary infection of powdery mildew]. *Visnyk ahrranoi nauky – Bulletin of Agricultural Science*, 10, 99. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202110-04> [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 29.05.2022

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПОГОДНИХ УМОВ НА ГОСПОДАРСЬКО-ЦІННІ ОЗНАКИ *LAVANDULA ANGUSTIFOLIA* L. В УМОВАХ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛ.

Л.В. Свиденко¹, Л.А. Глущенко², О.М. Вергун³,
Н.І. Гудзь⁴, О.Є. Марковська⁵

¹ Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН
(сmt Хлібодарське, Одеський р-н, Одеська обл., Україна)
e-mail: svid65@ukr.net; ORCID: 0000-0002-4043-9240

² Дослідна станція лікарських рослин
Інституту агроєкології і природокористування НААН
(с. Березоточа, Лубенський р-н, Полтавська обл., Україна)
e-mail: L256@ukr.net; ORCID: 0000-0003-2329-5537

³ Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН (м. Київ, Україна)
e-mail: olenavergun8003@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2924-1580

⁴ Львівський національний університет імені Івана Франка (м. Львів, Україна)
e-mail: natali_gudz@ukr.net; ORCID: 0000-0002-2240-0852

⁵ Херсонський державний аграрно-економічний університет НААН
(м. Кропивницький, Кіровоградська обл., Україна)
e-mail: mark.elena@ukr.net; ORCID: 0000-0002-8759-4272

Висвітлені основні результати багаторічної науково-дослідної роботи з оцінки колекційних зразків за проявом господарсько-цінних ознак *Lavandula angustifolia* L. залежно від погодних умов. На базі Державного підприємства «Дослідне господарство «Новокаховське» (Херсонська обл.) були закладені колекційні ділянки зразків лаванди вузьколистої задля інтродукційного вивчення та випробовування в умовах Степу Південного. Впродовж 20 років в цьому регіоні *Lavandula angustifolia* проходила багатовекторне вивчення як декоративна та ефіроолійна культура. За цей період створені нові адаптовані до місцевих умов сортозразки та сорти, які мають підвищені показники декоративні, а також високу врожайність та масову частку ефірної олії в сировині, зокрема сорти Лідія, Вікторія та Синева Надія. Особливий інтерес, з огляду на вивчення адаптаційної здатності культури представляє період 2016–2021 рр. Погодні умови, в зазначені роки, різнилися між собою за температурним режимом, кількістю опадів та їх розподілом тощо. Такі умови надали можливість всебічно оцінити вплив погодних умов на прояв господарсько-цінних ознак колекційних зразків лаванди в цьому регіоні, в т. ч. і новостворених сортів цієї цінної культури. Спостереженнями виявлені відхилення у проходженні фенологічних фаз та накопичення ефірної олії. Мінімальні показники урожайності та вмісту ефірної олії у всіх зразків мали місце у 2016 р., що пов'язано з різким зниженням температури та підмерзанням пагонів рослин. Максимальний урожай сировини зафіксовано у 2020 р., що пов'язано з оптимальною кількістю опадів у фазі відростання та бутонізації. Максимальні показники масової частки ефірної олії у сировині зафіксовані у 2018 р., що зв'язано із високими середньодобовими температурами та відсутністю опадів і суховіїв під час цвітіння. Результати проведеної багаторічної оцінки зразків лаванди вузьколистої — *L. angustifolia* за основними господарсько-цінними ознаками свідчить про перспективність промислового вирощування культури в умовах Степу Південного, а також переконливо доводить наявність адаптованого до умов регіону генетичного матеріалу вітчизняного походження.

Ключові слова: колекційні зразки, сорти, урожайність, ефірна олія, погодні умови.

ВСТУП

Ароматичні і ефіроолійні рослини промислово вирощують у багатьох країнах світу, внаслідок безумовно цінних вторинних метаболітів та їх компонентів. Поширенню цих культур перешкоджають переважно ґрунтово-кліматичні умови, тому їх вирощування здійснюється лише в регіонах з оптимальним кліматом для цих культур. Рослинні ефірні олії, а також їх компоненти, екстракти та настої застосовують у виготовленні парфумів, косметичних засобів, лікувально-профілактичних і лікувальних препаратів, засобів екогігієни, а також в якості ароматизаторів у харчовій та лікерогорілчаній промисловості, виноробстві тощо [1–5].

Природні умови Херсонської обл. сприяють вирощуванню ароматичних та ефіроолійних рослин. Особливо тих їх видів, які витримують вирощування за недостатньої зволоженості ґрунту та повітря, характерне для Степу Південного України [2]. Найперспективнішими серед них є лаванда (*Lavandula angustifolia* L.), лавандин (*Lavandula intermedia*), полин лимонний (*Artemisia balchanorum*), гісоп лікарський (*Hyssopus officinalis* L.), м'ята перцева (*Mentha piperita*), види родів чебрець, монарда, шавлія тощо, сировина значених видів широко використовується у фармацевтичній, парфумерно-косметичній і харчовій промисловості та в медицині [6–8].

Однак, не зважаючи на явний дефіцит сировини для промислових потреб, нині набуло поширення закладання плантацій та створення насаджень лаванди, у вигляді так званих «лавандових мануфактур» або «лавандових ферм». Ці ферми, на відносно невеликих площах, вирощують один або декілька сортів лаванди, переважно декоративного напрямку, де проводять фотосесії в період цвітіння, а також реалізують крафтову продукцію з лаванди: сухі суцвіття, ефірну олію та лавандову дистильовану воду («гідролат»), кондитерські вироби з додаванням лаванди тощо. Найвідомішими фермами лаванди такого типу в світі є Ферма Томіта в японському містечку На-

кафурано, Лавандова ферма Бріджістів, що у Тасманії, Лавандова ферма Purple Haze-Sequim, яка розташована на півострові Олімпік у штаті Вашингтон. Подібні тенденції властиві і Україні, лавандові насадження мануфактурного типу є в Закарпатті, в Одеській, Київській, Сумській та інших областях, вони розташовані поблизу великих населених пунктів та утримуються за рахунок відвідувачів. Одні з найбільших вітчизняних плантацій лаванди організованих за типом «лавандових мануфактур» знаходяться в Закарпатті біля м. Перечин площею близько 7,5 га та близько 6 га у с. Мотижин, що поблизу Києва. В них вирощуються переважно декоративні сорти зарубіжної селекції, що ускладнює, а часом і унеможлиблює розширення площ зайнятих цією цінною культурою з подальшим використанням сировини для промислового отримання ефірної олії та продуктів її переробки.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

З огляду на те, що попит світового ринку лаванди та продукції з неї щороку збільшується, вирощування цієї культури набуває дедалі повсюдного поширення і на території України [9; 10].

Лавандову олію, її окремі компоненти та продукти переробки лавандової сировини застосовують у парфумерній, харчовій, фармацевтичній, миловарній промисловості та інших галузях [6; 11]. За прогнозами експертів PMR (Procurement Monitoring Report), світовий ринок ефірної олії лаванди буде зростати і до 2024 р. досягне 124,2 млн дол. США [10]. Сприятливий збіг багатьох екологічних і економічних чинників вказує на перспективність роботи з цією культурою як в науковому сенсі, так і в комерційному.

З інформаційних джерел відомо, що на прояв господарсько-цінних показників у ароматичних і ефіроолійних рослин впливають такі чинники, як сорт, регіон вирощування та погодні умови певного року [3; 4; 7; 12]. Науковці Інституту садівництва НААН, вивчаючи біологічні особливості

Lavandula angustifolia за насінневого способу розмноження, підкреслюють той факт, що на морфобіологічні особливості, зокрема висоту рослин лаванди, найбільш істотний вплив мають погодні умови року [13]. Низка зарубіжних вчених, які проводили дослідження рослин лаванди щодо вмісту ефірної олії та її якісних характеристик вказували, що серед впливів на зазначені показники вирізняються саме генотип, температура повітря і кількість опадів під час цвітіння культури [14; 15].

Метою досліджень була оцінка перспективності інтродукованих та створених сортів та сортозразків *L. angustifolia* в умовах Степу Південного за урожайністю і масовою часткою ефірної олії в сировині, а також встановлення впливу погодних умов року на прояв цих господарсько-цінних ознак.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили на інтродукційних ділянках Державного підприємства «Дослідне господарство «Новокаховське» Інституту рису НААН (Херсонська обл.), нині Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН (сmt Хлібодарське, Одеський р-н, Одеська обл.).

Дослідне господарство «Новокаховське» розташоване у першому, північному агрокліматичному районі Херсонської обл., для якої загалом характерний помірно континентальний клімат із короткою весною, порівняно довгим спекотним та посушливим літом, м'якою з частими відлигами зимою. Суми температур понад 10°C становлять 3200–3300°C, кількість опадів за цей період 215–220 мм при річних показниках 380–430 мм, гідротермічний коефіцієнт 0,7. Середня тривалість періоду з температурами вище 0°C становить 175–180 діб, вегетаційного – 215–225 діб. Весняні заморозки припиняються переважно у третій декаді квітня. Середній багаторічний термін початку осінніх заморозків – друга декада жовтня, зрідка наприкінці вересня. Для Херсонщини характерні щорічні суховії, 40% з яких дуже інтенсивні та тривалі.

Землі Дослідного господарства «Новокаховське» знаходяться на території Каховської арили нижньодніпровських пісків і складаються з трьох видів ґрунтів – чорноземовидних легкосуглинистих, дерново-степових супіщаних та дерново-степових зв'язанопіщаних. Насадження ароматичних і ефіроолійних рослин розміщені на чорноземовидних легкосуглинистих ґрунтах із потужністю гумусового шару 76 см та вмістом гумусу в орному шарі 1,33% й частково на дерново-степових супіщаних ґрунтах із потужністю гумусового шару 87 см та вмістом гумусу в орному шарі 0,99% [7].

Впродовж 2016–2021 рр. проводили спостереження та всебічно вивчали колекцію з 11 зразків *L. angustifolia*. Серед них 4 зразки інтродуковані з Нікітського ботанічного саду – ННЦ НААН: сорт Рекорд, сорт Прима, *Lavandula angustifolia* f. *rosea* і *Lavandula angustifolia* f. *alba*. Інші досліджувані зразки – гібриди та сорти створені в Дослідному господарстві «Новокаховське». З них 2 сортозразки № 1-2-16 та № 1-3-16 є гібридами першого покоління сорту Прима й новостворені сорти:

- **сорт Лідія** – висота рослин, см – 65; довжина суцвіття, см – 8,0; кількість суцвіть на рослині, шт. – 95; кількість квіток у суцвітті, шт. – 80; вміст ефірної олії, % – 3,0; збір ефірної олії, кг/га – 64,0; вміст ліналілацетату в ефірній олії, % – 48,0; тривалість періоду цвітіння, діб – 30; урожайність суцвіть, т/га – 0,53; морозостійкість, бал (1–9) – 9; стійкість проти шкідників, бал (1–9): мураха (*Lasius nsgger*) – 9; збудники хвороб, бал (1–9) – 9 – не виявлені; зона районування – Степ;
- **сорт Вікторія** – висота рослин, см – 60,0; довжина суцвіття, см – 5,0; кількість суцвіть на рослині, шт. – 230; кількість квіток у суцвітті, шт. – 49; вміст ефірної олії, % – 3,8; збір ефірної олії, кг/га – 83,0; вміст ліналілацетату в ефірній олії, % – 34,2; тривалість періоду цвітіння, діб – 30; урожайність суцвіть, т/га – 0,55; морозостійкість, бал (1–9) – 9; стійкість проти шкідників, бал (1–9):

мураха (*Lasius nsgger*) – 9; збудники хвороб, бал (1–9) сіра гниль – 9; зона районування – Степ;

- **сорт Синева Надії** – висота рослин, см – 60,0; довжина суцвіття, см – 13,0; кількість суцвіть на рослині, шт. – 200; кількість квіток у суцвітті, шт. – 90; вміст ефірної олії, % – 3,25; збір ефірної олії, кг/га – 71,0; вміст ліналілацетату в ефірній олії, % – 20,1; тривалість періоду цвітіння, діб – 30; урожайність суцвіть, т/га – 0,55; морозостійкість, бал (1–9) – 9; стійкість проти шкідників, бал (1–9): мураха (*Lasius nsgger*) – 9; збудники хвороб, бал (1–9) – 9 – не виявлені; зона районування – Степ;

- **сорт Зміючка та Рожевий Фламінго** проходять Державне сортопробування.

Екологічні і фенологічні спостереження за сортами та сортозразками проводили за загальноприйнятими методиками [16–18].

Оцінюючи зразки за основними господарсько-цінними ознаками визначали: урожай сировини та вміст у ній ефірної олії, також проводили порівняння даних із середніми багаторічними. Облік урожаю здійснювали за методикою польових дослідів Б.А. Доспехова, сировину зрізували вручну і відразу ж зважували [19]. Масову частку ефірної олії в рослинних зразках визначали методом Гінзберга на апаратах Клевенджера [20; 21].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Лаванда вузьколиста – *Lavandula angustifolia* інтродукована в Державному підприємстві Дослідне господарство «Новокаховське» Інституту рису НААН нині – Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН у 1997 р. Впродовж 20 років в умовах степової зони півдня України лаванда вузьколиста проходила вивчення як декоративна та ефіроолійна культура.

Погодні умови 2016–2021 рр., в які проводили поглиблені дослідження значно різнилися між собою, що дало змогу провес-

ти всебічні дослідження впливу погодних умов на прояв господарсько-цінних ознак у лаванди вузьколистої в цьому регіоні. За результатами оцінки стану перезимівлі лаванди у зазначений період встановлено, що мінімальною температура повітря –20,1°C була в другій декаді січня 2016 р., а найвищу температуру повітря було зафіксовано у 2018 р. впродовж другої та третьої декади серпня (+35°C).

Опади у вигляді дощу при мінусовій температурі, що мали місце в січні 2016 р., призвели до утворення потужної льодяної кірки на рослинах, яка трималася впродовж 4–5 діб. Це призвело до пошкодження пагонів практично у всіх зразків лаванди. Серед зразків, які були у вивченні, в умовах зими 2016 р. виділився лише сорт Синева Надії, в якого були пошкоджені лише річні пагони, і його морозостійкість оцінено у 7 балів.

Весняне відростання зразків лаванди вузьколистої 2016 р. починалося з базальних частин рослин наприкінці першої і початку другої декади квітня. Відростання відбувалось вкрай повільно, оскільки вся надземна частина була пошкоджена морозами, проте, не зважаючи на пошкодження, всі зразки лаванди, за якими проводили спостереження, навесні відновили ріст, випадів не спостерігали. Першим відновив вегетацію *L. angustifolia f. rosea*.

Фазу початку цвітіння у рослин відмічали на 5–7 добу пізніше (15.06–17.06), ніж у попередньому 2015 р. Урожай сировини у зразків лаванди був нижчим, ніж у попередні роки і коливався від 67 г до 324 г квіток з куща, що пов'язано з підмерзанням пагонів і зменшенням кількості квітконосів на рослинах. Так, у сорту лаванди Рекорд урожай сировини з одного куща був на 186 г меншим, а у сорту Прима на 95 г меншим, ніж у 2015 р. Серед усіх зразків найбільш урожайним виявився зразок № 1/2-16 (табл. 1).

Масова частка ефірної олії колекційних зразків лаванди в 2016 р. коливалася у межах 0,5–1,3% від маси свіжозібраної сировини або 1,27 до 3,25% від абсолютно сухої (табл. 2). Найвищий вміст ефірної олії

Таблиця 1. Оцінка зразків *Lavandula L.* за урожаєм сировини (2016–2021 рр.)

| № з/п | Назва зразку | Урожай сировини, г з куща | | | | | |
|-------|--|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| 1 | <i>Lavandula angustifolia</i> сорт Лідія | 68±8 | 400±43 | 339±23 | 220±29 | 340±56 | 97±16 |
| 2 | <i>Lavandula angustifolia</i> сорт Вікторія | 180±17 | 610±41 | 500±20 | 580±36 | 700±49 | 380±31 |
| 3 | <i>Lavandula angustifolia</i> сорт Прима | 80±11 | 600±39 | 602±30 | 540±30 | 625±56 | 400±53 |
| 4 | <i>Lavandula angustifolia</i> сорт Синева Надії | 167±3 | 700±28 | 720±60 | 606±41 | 797±98 | 590±46 |
| 5 | <i>Lavandula angustifolia</i> <i>f. alba</i> | 145±13 | 440±61 | 380±20 | 360±48 | 410±39 | 200±35 |
| 6 | <i>Lavandula angustifolia</i> <i>f. rosea</i> | 78±8 | 110±8 | 263±35 | 260±30 | 306±45 | 92±21 |
| 7 | <i>Lavandula angustifolia</i> №1/2-16 | 324±36 | 780±38 | 565±29 | 620±74 | 658±40 | 388±28 |
| 8 | <i>Lavandula angustifolia</i> № 1/3-16 | 300±26 | 648±32 | 366±24 | 380±26 | 440±40 | 300±30 |
| 9 | <i>Lavandula angustifolia</i> сорт Зміючка | 80±8 | 350±29 | 332±31 | 230±30 | 251±33 | 89±17 |
| 10 | <i>Lavandula angustifolia</i> Рожевий фламінго | 80±6 | 190±27 | 180±20 | 181±30 | 296±31 | 78±21 |
| 11 | <i>Lavandula angustifolia</i> сорт Рекорд | 177±15 | 600±39 | 510±19 | 550±32 | 720±40 | 390±35 |

відмічали у зразків: № 1/2-16, сорт Вікторія, сорт Рекорд і сорт Синева Надії. Мінімальний показник масової частки ефірної олії мав зразок *L. angustifolia f. rosea*.

Погодні умови 2017 р. сприяли нормальному розвитку рослин. Мінімальну короткочасну температуру повітря $-18,6^{\circ}\text{C}$ зафіксовано 30 січня. Особливістю погодних умов року були пізньовесняні приморозки та опади у вигляді снігу (12.04). Наприкінці другої декади травня температура була не стабільною. Вдень температура повітря піднімалась до $+20^{\circ}\text{C}$, а вночі знижувалась до $+8^{\circ}\text{C}$, проте не зважаючи на значні добові перепади температур, впливу на господарсько-цінні показники у зразків лаванди не відмічали. Весняне відростання починалося в третій декаді березня, що на 10 днів раніше, ніж у попередньому році. Фазу цвітіння відмічали у ті самі терміни, що і зазвичай — друга-третья декада червня. Цвітіння було доволі рясним.

Порівнюючи урожайність сировини лаванди у 2016 і 2017 рр., відмічали перевищення у 6–10 разів, що зумовлено погодними умовами зимового періоду та під час цвітіння рослин. Урожай сировини коливався від 110 до 780 г з куща, максимальною урожайністю сировини була у зразку № 1-2-16, найменший у *L. angustifolia f. rosea*.

Високі показники вмісту ефірної олії виявили у сорту Синева Надії, сорту Лідія, зразка № 1/2-16 та сорту Рекорд. Найвищий вміст ефірної олії зафіксували у сорту Зміючка — 1,36% від маси свіжозібраної сировини або 3,34% від абсолютно сухої маси рослинної сировини (див. *табл. 2*). Найнижчим цей показник був у зразку *L. angustifolia f. rosea* — 0,45% від свіжозібраної або 1,13% від сухої рослинної маси.

За продуктивністю — виходом ефірної олії з куща виділили зразки: сорт Синева Надії — 7,0 г, сорт Лідія — 7,2 г і сорт Ре-

Таблиця 2. Оцінка зразків *Lavandula L.* за вмістом ефірної олії у сировині (2016–2021 рр.)

| № з/п | Назва зразку | Масова частка ефірної олії, % від маси свіжозібраної сировини | | | | | |
|-------|--|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| 1 | <i>Lavandula angustifolia</i> сорт Лідія | 0,97±0,03 | 1,2±0,03 | 1,1±0,02 | 1,0±0,02 | 0,9±0,01 | 0,64±0,01 |
| 2 | <i>Lavandula angustifolia</i> сорт Вікторія | 1,27±0,02 | 1,3±0,02 | 1,5±0,01 | 1,35±0,03 | 1,3±0,02 | 1,3±0,02 |
| 3 | <i>Lavandula angustifolia</i> сорт Прима | 1,0±0,02 | 0,9±0,02 | 1,0±0,01 | 0,95±0,03 | 0,9±0,02 | 0,8±0,01 |
| 4 | <i>Lavandula angustifolia</i> сорт Синева Надії | 1,16±0,03 | 1,2±0,01 | 1,3±0,02 | 1,2±0,01 | 1,1±0,01 | 1,0±0,01 |
| 5 | <i>Lavandula angustifolia</i> <i>f. alba</i> | 0,7±0,01 | 0,65±0,02 | 0,7±0,01 | 0,6±0,01 | 0,5±0,01 | 0,45±0,01 |
| 6 | <i>Lavandula angustifolia</i> <i>f. rosea</i> | 0,50±0,01 | 0,45±0,01 | 0,85±0,02 | 0,5±0,01 | 0,45±0,01 | 0,4±0,01 |
| 7 | <i>Lavandula angustifolia</i> № 1/2-16 | 1,3±0,02 | 1,25±0,02 | 1,25±0,01 | 0,9±0,01 | 1,2±0,01 | 0,9±0,01 |
| 8 | <i>Lavandula angustifolia</i> №1/3-16 | 1,1±0,02 | 1,1±0,01 | 1,2±0,01 | 1,3±0,02 | 1,25±0,02 | 1,0±0,01 |
| 9 | <i>Lavandula angustifolia</i> сорт Зміючка | 1,0±0,02 | 1,36±0,01 | 1,3±0,01 | 1,0±0,02 | 1,1±0,03 | 1,0±0,01 |
| 10 | <i>Lavandula angustifolia</i> сорт Рожевий фламінго | 0,6±0,01 | 0,9±0,01 | 1,1±0,02 | 1,0±0,01 | 0,7±0,01 | 0,6±0,01 |
| 11 | <i>Lavandula angustifolia</i> сорт Рекорд | 1,2±0,01 | 1,3±0,02 | 1,35±0,01 | 1,3±0,03 | 1,3±0,02 | 1,2±0,01 |

корд — 7,9 г. Найвищим цей показник був у зразку № 1/2-16 — 9,8 г.

Погодні умови 2018 р. також були сприятливими для нормального росту і розвитку рослин *L. angustifolia*. Після відносно теплої зими, з рясними опадами 23–24 січня та 27–28 лютого, переважно у вигляді снігу, пошкоджень рослин під час зимівлі не спостерігалось. Прохолодна погода в другій декаді березня загальмувала процес відростання лаванди на декаду порівняно з 2017 р. Відростання відмічали наприкінці першої — на початку другої декади квітня. Початок фази масового цвітіння відбувся впродовж другої декади червня. Цвітіння всіх досліджуваних зразків було рясним. Починаючи з другої декади червня і весь липень температура повітря піднімалась до +35,2°C.

Показники врожайності сировини зразків лаванди в 2018 р. були на рівні 180–720 г з куща. Максимальні показники відмічені

у сорту Синева Надії. Оцінка показників вмісту ефірної олії показала, що у 2018 р. вони були вищими, ніж у попередньому 2017 р. (див. *табл. 2*). У всіх досліджуваних зразків вміст ефірної олії був не нижчим за 0,7% від маси свіжозібраної сировини, що вказує на оптимальні умови, що склалися в період входження рослин у фазі цвітіння. Максимальний вміст ефірної олії у свіжозібраній сировині — 1,5% зафіксовано у сорту Вікторія. З огляду на погодні умови — висока температура у поєднанні з відсутністю вітрів-суховіїв, мали позитивний вплив на інтенсивність синтезу ефірної олії в рослин лаванди вузьколистої.

Погодні умови впродовж зимових місяців 2019 р. не відрізнялась критично низькими для культури температурами, тому пошкоджень морозами не відмічали. Весняне відростання розпочалося у першій декаді квітня, що на 10 днів раніше, ніж у 2018 р. Фази цвітіння відмічали в ті самі

терміни, що і в попередні роки — друга та третя декади червня. Погодні умови початку літа сприяли рясному цвітінню.

Урожайність зразків лаванди вузько-листої у 2019 р. коливалася у межах 181–620 г. Найвищим цей показник виявився у зразку № 1-2-16 (див. *табл. 1*).

За масовою часткою ефірної олії в цьому самому році виділились зразки: №1-3-16, сорт Вікторія та сорт Рекорд. Показники масової частки ефірної олії в сировині були дещо нижчими за минулорічні (див. *табл. 2*).

Зимовий період 2019-2020 рр. був аномально теплим. Тепла погода взимку і надзвичайно тепла у першій декаді березня (до +20°C) сприяла передчасному початку вегетації у всіх зразків, але друга декада березня, що характеризувалася нічним зниженням температури до -3°C, посухою із приморозками призвела до випадів рослин. Прохолодна погода у другій декаді квітня та в травні затримувала фазу відростання у більшості зразків на 7–10 діб. Однак значна для регіону кількість опадів, які мали місце у травні (27 мм) і червні (26,5 мм), сприяла активізації росту та розвитку рослин. У лаванди вузько-листої спостерігали значну кількість самосіву, що буває досить рідко.

У 2020 р. у всіх зразків лаванди вузько-листої відмічено збільшення урожаю сировини порівняно із попереднім роком, який коливався від 340 до 797 г з рослини. Найвищі показники урожайності мали сорт Синева Надії і зразок № 1-2-16, 797 г та 658 г відповідно. Однак вміст ефірної олії у багатьох зразків був нижчим, ніж у попередні роки. Масова частка ефірної олії у рослин коливалась від 0,45 до 1,3% від маси свіжозібраної сировини або від 1,13% до 3,21% від абсолютно сухої (див. *табл. 2*). Так, у сорту Синева Надії показник вмісту ефірної олії в свіжозібраній сировині був відповідно на 0,2 та 0,1% нижчим від показників 2018 і 2019 рр.

У 2021 р. за позитивних температур у зимові місяці та різким зниженням її у березні відмічено підмерзання пагонів у сорту Рожевий фламінго, *L. angustifolia f.*

rosea та *a. f. alba*. Фаза бутонізації пройшла у звичайні для кожного з досліджуваних зразків терміни, без морфобіологічних відхилень. Велика кількість опадів (зливи) у третій декаді червня і першій декаді липня негативно вплинула на проходження фази цвітіння. Цвітіння тривало лише 24 доби, тоді як у попередні роки фаза тривала 30–35 діб. У фазі масового цвітіння більшість сформованих суцвіть не мали нормально розвинених квіток, здебільшого вони не розкрилися, а у зразків, де сформувалися бічні квітконоси, квіткі згнили. Тому врожай сировини у всіх зразків лаванди вузько-листої був дуже низьким (див. *табл. 1*). Так, у сорту Лідія порівняно з попереднім роком він був у 3,5 раза нижчим. У більшості випадків нижчою була і масова частка ефірної олії (див. *табл. 2*).

У 2021 р. зав'язування насіння було теж низьким, всього близько 10%. У лаванди сорту Лідія відмічено проліферацію на суцвіттях. В умовах степової зони півдня України на рослинах лаванди це явище спостерігається вперше з моменту інтродукції цього виду в умовах Херсонської обл.

ВИСНОВКИ

Таким чином, у результаті дослідження біологічних та господарсько-цінних ознак лаванди вузько-листої у 2016–2021 рр. встановлені відхилення в проходженні фаз розвитку рослин та відмічена різниця господарсько-цінних показників, які залежать від погодних умов року та генотипу. Зразки № 1-2-16, сорт Рекорд, сорт Синева Надії і сорт Вікторія виявилися найстійкішими і мали високі показники господарсько-цінних ознак практично в усі роки досліджень, що пов'язано із їх генетичними особливостями. Мінімальні показники врожайності та вмісту ефірної олії у всіх зразків мали місце у 2016 р., що пов'язано з різкими зниженнями температури, і призвели до пошкодження значної кількості продуктивних пагонів у зимові місяці. Максимальний урожай сировини зафіксовано у 2020 р., у зв'язку з великою для цієї зони кількістю опадів у фазах відростання та бутонізації. Максимальні по-

казники масової частки ефірної олії зафіксовані у 2018 р., що зумовлено високими температурами та відсутністю опадів під час фази цвітіння.

Отже, багаторічна оцінка за основними господарсько-цінними ознаками зразків *L. angustifolia* інтродукованих і створених у Державному підприємстві Дослідне господарство «Новокаховське» Інституту рису

НААН (нині — Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН) свідчить про перспективність промислового вирощування культури в умовах Степу Південного, а також переконливо доводить наявність адаптованого до умов регіону генетичного матеріалу вітчизняного походження.

ЛІТЕРАТУРА

- Свиденко Л.В., Глущенко Л.А. Компонентний склад ефірної олії у формах видів чебрецю повзучого (*Thymus serpyllum* L.) і блошиного (*Thymus pulegioides* L.) в умовах Херсонської області. *Агро-екологічний журнал*. 2016. № 2. С. 129–134.
- Свиденко Л.В., Єжов В.М. Перспективи вирощування деяких ефіроолійних культур у Степу Південному. *Вісник аграрної науки*. 2015. № 6. С. 20–24.
- Frolova N. et al. Plants of *Nepeta cataria* var. *citriodora* Beck. and essential oils from them for food industry. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2019. № 13 (1). С. 449–455. DOI: <https://doi.org/10.5219/1109>
- Korablova O.A., Rakhmetov D.B., Shanaida M.I. et al. The content of macro- and microelements in plants of the genus *Artemisia* under conditions of introduction in the M.M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. № 17 (3). P. 199–209. DOI: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.17.3.2021.242983>.
- Hudz Nataliia, Makowicz Ewa, Shanaida Mariia et al. Phytochemical Evaluation of Tinctures and Essential Oil Obtained from *Satureja montana* Herb. *Molecules*. 2020. № 25. P. 4763. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25204763>
- Дудченко В.В., Марковська О.Є., Стеценко І.І. Моніторинг хвороб рослин роду *Lavandula* L. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 122. С. 72–78. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.122.10>
- Dudchenko V., Svydenko L., Markovska O. and Sydiakina O. Morphobiological and Biochemical Characteristics of *Monarda* L. Varieties under Conditions of the Southern Steppe of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. № 21 (8). P. 99–107. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/127093>
- Pryvedeniuk N., Kutsyk T. and Hlushchenko L. The effect of main mineral fertilizers application and plants nutrition area on the quality of thyme raw plant materials (*Thymus vulgaris* L.) under irrigation conditions. *Агро-екологічний журнал*. 2021. № 2. С. 125–133. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234471>
- Марковська О.Є., Свиденко Л.В., Стеценко І.І. Порівняльна оцінка морфометричних показників і господарсько цінних ознак *Lavandula angustifolia* Mill. та *Lavandula hybrida* Rev. *Scientific Horizons*. 2020. № 02 (87). С. 24–31. DOI: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-24-31>
- Марковська О.Є., Стеценко І.І., Свиденко Л.В. Компонентний склад ефірної олії *Lavandula angustifolia* Mill. і *Lavandula hybrida* Rev. за умов вирощування на півдні України. *Перспективні напрями та інноваційні досягнення аграрної науки*: матеріали II Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Херсон, 22 трав. 2020 р.). Херсон: ДВНЗ «ХДАУ», 2020. С. 24–32.
- Pokajewicz Katarzyna, Bialo Marietta, Svydenko Liudmyla et al. Chemical Composition of the Essential Oil of the New Cultivars of *Lavandula angustifolia* Mill. Bred in Ukraine. *Molecules*. 2021. № 26. P. 5681. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules>
- Кременчук Р.І., Китаєв О.І. Оцінка морозостійкості лаванди вузьколистий. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2017. Т. 13. № 2. С. 155–161.
- Рудник-Іващенко О.І., Кременчук Р.І. Біологічні особливості рослин лаванди за насінневого способу розмноження у Лісо степовій Зоні України. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2018. № 4 (74). URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21D BN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=A SP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Nd_2018_4_4.
- Hassiotis C.N., Ntanab F., Lazari D.M. et al. Environmental and developmental factors affect essential oil. Production and quality of *Lavandula angustifolia* during flowering period. *Industrial Crops and Products*. 2014. № 62. P. 359–366. DOI: http://localhost/var/www/apps/conversion/tmp/scratch_1/dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.048
- Montserrat Fernández-Sestelo and José M. Carrillo. Environmental Effects on Yield and Composition of Essential Oil in Wild Populations of Spike Lavender (*Lavandula latifolia* Medik.). *Agriculture*. 2020. № 10. P. 626. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10120626>
- Ткачик С.О. Методика післяреєстраційного вивчення сортів рослин (ПСВ). Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 28 с.

17. Работягов В.Д., Машанов В.И., Андреева Н.Ф. Интродукция эфирномасличных и пряноароматических растений. Ялта: ГНБС, 1999. 30 с.
18. Порада О.А. Методика формування і ведення колекцій лікарських рослин. Полтава: ПДАА, 2007. 50 с.
19. Доспехов В.А. Методика полевого опыта. Москва: Колос, 1985. 351 с.
20. Работягов В.Д., Свиденко Л.В. Создание высокопродуктивных форм лаванды при межвидовых скрещиваниях. Методические рекомендации. Ялта: ГНБС, 2010. 36 с.
21. Державна фармакопея України (ДФУ-2): в 3-х т. Київ: ДП «Фармакопейний центр», 2014. Т. 3. 732 с.

REFERENCES

1. Svydenko, L.V. & Hlushchenko, L.A. (2016). Komponentnyy sklad efirnoyi oliyi u form chebretsyyu povzuchoho (*Thymus serpyllum* L.) ta chebretsyyu blshynoho (*Thymus pulegioides* L.) v umovakh Kherson'skoyi oblasti [The component composition of the essential oil in the forms of creeping thyme (*Thymus serpyllum* L.) and flea thyme (*Thymus pulegioides* L.) in the conditions of the Kherson region]. *Ahroekologichnyi zhurnal – Agroecological journal*, 2, 129–134 [in Ukrainian].
2. Svydenko, L.V. & Yezhov, V.M. (2015). Perspektyvy vyroshchuvannya deiakyykh efirooliynykh kultur u Stepu Pivdennomu [Prospects for growing some essential oil crops in the Southern Steppe]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Herald of Agrarian Science*, 6, 20–24 [in Ukrainian].
3. Frolova N. et al. (2019). Plants of *Nepeta cataria* var. *citriodora* Beck. and essential oils from them for food industry. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 13 (1), 449–455. DOI: <https://doi.org/10.5219/1109> [in English].
4. Korablava, O.A., Rakhmetov, D.B., Shanaida, M.I. et al. (2021). The content of macro- and microelements in plants of the genus *Artemisia* under conditions of introduction in the M. M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 17 (3), 199–209. DOI: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.17.3.2021.242983> [in English].
5. Hudz, Nataliia, Makowicz, Ewa, Shanaida, Mariia et al. (2020). Phytochemical Evaluation of Tinctures and Essential Oil Obtained from *Satureja montana* Herb. *Molecules*, 25, 4763. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25204763> [in English].
6. Dudchenko, V.V., Markovska, O.Ie. & Stetsenko, I.I. (2021). Monitorynh khvorob roslin rodu *Lavandula* L. [Monitoring of the ailment of the genus *Lavandula* L.]. *Tavriyskiy naukoviy visnyk – Taurian scientific bulletin*, 122, 72–78 [in Ukrainian].
7. Dudchenko, V., Svydenko, L., Markovska, O. & Sydiakina, O. (2020). Morphobiological and Biochemical Characteristics of *Monarda* L. Varieties under Conditions of the Southern Steppe of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, 21 (8), 99–107. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/127093> [in English].
8. Pryvedeniuk, N., Kutsyk, T. & Hlushchenko, L. (2021). The effect of main mineral fertilizers application and plants nutrition area on the quality of thyme raw plant materials (*Thymus vulgaris* L.) under irrigation conditions. *Ahroekologichnyi zhurnal – Agroecological journal*, 2, 125–133. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234471> [in English].
9. Markovska, O.Ie., Svydenko, L.V. & Stetsenko, I.I. (2020). Porivnialna otsinka morfometrychnykh pokaznykiv i hospodarsko tsinnykh oznak *Lavandula angustifolia* Mill. ta *Lavandula hybrida* Rev. [Comparative assessment of morphometric indicators and economically valuable traits of *Lavender angustifolia* Myl. and *Lavender hybrida* Rev.]. *Scientific Horizons – Horizons Scientist*, 02 (87), 24–31. DOI: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-24-31> [in English].
10. Markovska, O.Ie., Stetsenko, I.I. & Svydenko, L.V. (2020). Komponentnyi sklad efirnoi olii *Lavandula angustifolia* Mill. i *Lavandula hybrida* Rev. za umov vyroshchuvannya na pivdni Ukrainy [The component composition of essential oil *Lavandula angustifolia* Mill. and *Lavandula hybrida* Rev. under growing conditions in the south of Ukraine]. *Perspektyvni napryamy ta innovatsiyni dosyahnennya ahraranoi nauky: materialy II Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi internet-konferentsiyi [Promising directions and innovative achievements of agricultural science: materials of the II All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference]*. (pp. 24–32). Kherson [in Ukrainian].
11. Pokajewicz, Katarzyna, Bialo, Marietta, Svydenko, Liudmyla et al. (2021). Chemical Composition of the Essential Oil of the New Cultivars of *Lavandula angustifolia* Mill. Bred in Ukraine. *Molecules*, 26, 5681. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules> [in English].
12. Kremenchuk, R.I. & Kytaiev, O.I. (2017). Otsinka morozostiikosti lavandy vuzkolystoi [Evaluation of frost resistance of narrow-leaved lavender]. *Sortovyvchennia ta okhorona prav na sorty roslin – Varietal research and protection of rights to plant varieties*, 13 (2), 155–161 [in Ukrainian].
13. Rudnyk-Ivashchenko, O.I. & Kremenchuk, R.I. (2018). Biologichni osoblyvosti roslin lavandy za nasinnievoho sposobu rozmnozhenia u Lisostepovii Zoni Ukrainy [Biological features of lavender plants by the seed method of reproduction in the Forest-Steppe Zone of Ukraine]. *Naukovi dopovidy Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy – Scientific reports of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine*, 4 (74). URL: http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&

- S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=Nd_2018_4_4 [in Ukrainian].
14. Hassiotis, C.N., Ntanab, F., Lazari, D.M. et al. (2014). Environmental and developmental factors affect essential oil. Production and quality of *Lavandula angustifolia* during flowering period. *Industrial Crops and Products*, 62, 359–366. DOI: http://localhost/var/www/apps/conversion/tmp/scratch_1/dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.048 [in English].
 15. Montserrat, Fernández-Sestelo & José M., Carrillo (2020). Environmental Effects on Yield and Composition of Essential Oil in Wild Populations of Spike Lavender (*Lavandula latifolia* Medik.). *Agriculture*, 10, 626. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10120626> [in English].
 16. Tkachyk, S. (2015). *Metodyka pisliareistratsiinoho vyvchennia sortiv roslin (PSV) [Methodology of post-registration study of plant varieties]*. Vinnytsia [in Ukrainian].
 17. Rabotiahov, V.D., Mashanov, V.Y. & Andreeva, N.F. (1999). *Introduktsiya efirnomaslichnykh i pryano-aromaticeskikh rasteniy [Introduction of essential oil and aromatic plants]*. Yalta [in Russian].
 18. Porada, O.A. (2007). *Metodyka formuvannia i vedenia koleksii likarskykh roslin [Methods of forming and maintaining collections of medicinal plants]*. Poltava [in Ukrainian].
 19. Dosphehov, V.A. (1985). *Metodika polevogo opyita [Methods of field experience]*. Moskva [in Russian].
 20. Rabotiahov, V.D. & Svydenko, L.V. (2010). *Sozdaniye vysokoproductivnykh form lavandy pri mezhvidovykh skreshchivaniyakh. Metodicheskiye rekomendatsii [Creation of highly productive forms of lavender in interspecific crosses. Guidelines]*. Yalta [in Russian].
 21. *Derzhavna Farmakopeja Ukrainy (DFU-2.0) [The State Pharmacopoeia of Ukraine]*. (2014). (Vol. 3). Kyiv [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 09.06.2022

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИЧНИХ ПІДХОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ СХОЖОСТІ НАСІННЯ ЗВІРОБОЮ ЗВИЧАЙНОГО (*HYPERICUM PERFORATUM* L.)

О.С. Дем'янюк¹, О.О. Кічігіна¹, Ю.А. Цибро¹,
Н.І. Куценко², О.О. Куценко¹, І.С. Власенко³

¹ Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: demolena@ukr.net; ORCID: 0000-0002-4134-9853
e-mail: ol_ki@ukr.net; ORCID: 0000-0003-0879-627X
e-mail: u.cubro@gmail.com; ORCID: 0000-0001-7775-9283
e-mail: djek5158@gmail.com; ORCID: 0000-0003-0898-9880

² Дослідна станція лікарських рослин Інституту агроекології і природокористування НААН
(м. Лубни, Полтавська обл., Україна)
e-mail: on58842@gmail.com; ORCID: 0000-0002-4777-1860

³ Національна академія аграрних наук України (м. Київ, Україна)
e-mail: innav_s@ukr.net; ORCID: 0000-0001-6120-649X

До насіннєвого матеріалу лікарських культур висувують дедалі вищі вимоги, які повинні бути узгоджені з міжнародними стандартами і вимогами Настанови з належної практики культивування та збирання (GACP) вихідної сировини рослинного походження. Виробництво лікарської рослинної сировини потребує не просто сортового насіння, а саме насіннєвого матеріалу з високими посівними якостями. Тому контроль за якістю насіння є обов'язковим заходом, проведення якого не можливе без встановлених методів визначення його посівних якостей. Особливої уваги у вивченні цих питань потребує насіння лікарських рослин, що нетривалий час вирощують у культурі, до яких належить і звіробиї звичайний (*Hypericum perforatum* L.). За результатами аналізу наукової літератури та нормативних документів встановлено, що в Україні для широкого спектра лікарських і ефіроолійних культур, у т. ч. звіробою звичайного, відсутні нормативні документи (чинні стандарти) на методи визначення посівних якостей, технічні умови на насіння. Водночас найважливішим показником посівних якостей насіння є схожість. Цей показник є нормованим та базовим при купівлі-продажу насіння, відпуску насіння на посів. Тому метою роботи було розробити методичні підходи визначення схожості насіння звіробою звичайного з використанням стандартних процедур і методик, які застосовують у вітчизняній та міжнародній практиці. Враховували методичні підходи, які наведено для інших культур у нормативних документах як чинних в Україні, так і за кордоном. Встановлено, що методичними особливостями визначення показників енергії проростання та схожості насіння звіробою звичайного є можливість використання фільтрувального паперу або піску як субстрату для пророщування. Оптимальним субстратом є фільтрувальний папір, а спосіб пророщування — на фільтрі. Для пророщування насіння на фільтрувальному папері та в піску рекомендовано використовувати температуру сталу (+20°C) або змінну (+20–30°C). Строки проведення обліків: енергії проростання — 10, схожості — 21 доба.

Ключові слова: посівні якості насіння, температурний режим, субстрат, спосіб пророщування.

ВСТУП

Звіробиї звичайний (*Hypericum perforatum* L.) цінна лікарська рослина, добрий медонос. Лікарською сировиною є

облистяна надземна частина, зібрана в період бутонізації і цвітіння без огрубілих часток (Herba Hyperici). Різноманітність біологічно активних речовин у надземній масі звіробою обумовлює широкий спектр застосування препаратів на його основі.

© О.С. Дем'янюк, О.О. Кічігіна, Ю.А. Цибро,
Н.І. Куценко, О.О. Куценко, І.С. Власенко, 2022

Лікувальні властивості його пов'язані зі складним хімічним складом. Трава звіробою містить близько 4% флавоноїдів (гіперозид, кверцетин, псевдогіперіцин, гіперіцин, складні ефіри ізовалеріанової кислоти (заспокійлива дія), дубильні речовини (катехіни), бактеріостатичні смолисті речовини, цериловий спирт, нікотинову кислоту [1]. Квітучі верхівки пагонів звіробою використовують, як в'язучий, протизапальний і тонізуючий засіб за кровохаркання, кашлю, проносах, колітах, хворобах печінки, для укріплення ясен тощо. Важливими компонентами звіробою звичайного є антраценпохідні сполуки — гіперіцин похідне флороглюцинолу — гіперфорин. Ці компоненти звіробою звичайного зумовлюють антидепресивну дію [1; 2].

На ринку України і світу є препарати з такою дією, основою яких є звіробій (наприклад, Депривіт, Седатон та ін.). Траву звіробою звичайного використовують у вигляді лікарської рослинної сировини як монопрепарат, так і у вигляді комбінованих зборів, таблеток, екстрактів. Низька токсичність рослини надає актуальності питанням щодо розроблення нових комбінованих препаратів [3].

Сировину цієї рослини використовують у косметології для виготовлення кремів, лосьйонів, шампунів. Звіробій звичайний відомий, як «трава від 99 хвороб» та знаходить своє використання, як у офіційній, так і народній медицині багатьох країн світу [3–5].

Траву звіробою звичайного в Україні, на відміну від європейських країн, заготовляють переважно з дикорослих популяцій. І хоча, в Україні, звіробій звичайний у природі зустрічається доволі часто, його збір має свої особливості та недоліки і дедалі ускладнюється. Активна господарська діяльність людини, погіршення екологічної ситуації загалом, підвищений комерційний інтерес і відсутність планів на заготівлю сировини звіробою звичайного загрожує виснаженню природних запасів цієї рослини [6–8].

Тому фармацевтичні компанії, які виробляють зі звіробою лікарські препарати,

дедалі частіше переходять на корпоративне вирощування звіробою для своїх потреб. Водночас культивування звіробою в Україні не набуло поширення, що пов'язане з ризиками на окремих етапах його вирощування та потребує зонального вивчення із розробленням та удосконаленням відповідних технологій. Водночас, одним із важливих аспектів для культивування звіробою звичайного є питання, що пов'язані із встановленням доброякісності насінневого матеріалу та посівних якостей насіння. За цих умов, схожість є нормованим та найбільш важливим показником посівних якостей насіння, який є базовим при купівлі-продажу насіння, відпуску насіння на посів. Адже рівень схожості, встановлений стандартом, забезпечує нормальне проростання насіння в польових умовах, формування оптимальної густоти посівів та врожайність культури.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Упродовж останнього десятиріччя в Україні, як і у світі загалом, існує постійний попит на лікарську рослинну сировину. Нарощування темпів збуту і створення нових лікарських засобів щороку на 20–25% збільшують потребу фармацевтичних підприємств у сировині лікарських культур [9; 10].

Відтак введення в культуру та вирощування звіробою звичайного (*Hypericum perforatum* L.) є одним із актуальних завдань галузі лікарського рослинництва [2; 11].

За таких умов, нині до насінневого матеріалу лікарських культур висувують дедалі вищі вимоги, які повинні бути узгоджені з міжнародними стандартами і вимогами Настанови з належної практики культивування та збирання (GACP) вихідної сировини рослинного походження. Оскільки виробництво лікарської рослинної сировини потребує не просто сортового насіння, а саме насінневого матеріалу з високими посівними якостями. Насіння, із якого розвивалися б конкурентоспроможні рослини із добре розвинутою кореневою системою,

яке б забезпечувало появу дружних сходів і одночасне проходження етапів органогенезу [12].

Насіння є носієм біологічних і господарських властивостей рослини, від яких значною мірою залежить урожай сировини та її якість. Високоякісний насіннєвий матеріал сприяє зниженню витрат та забезпечує економію ресурсів. Тому контроль за якістю насіння є обов'язковим заходом, проведення якого не можливе без встановлених методів визначення його посівних якостей. Особливої уваги у вивченні цих питань потребує насіння лікарських рослин, до яких належить і звіробій звичайний, що нетривалий час вирощується в культурі. Для більшості з них, методи визначення якості посівного матеріалу відсутні або застарілі та не мають чинної дії, тому потребують розроблення й уточнення.

Детальному вивченню питань насіннезнавства почали приділяти увагу ще на початку та у середині минулого століття, та дослідження з екології насіння продовжують бути актуальними для вивчення і нині [13].

Вивченню екологічних і біологічних особливостей проростання та інших особливостей насіння лікарських рослин як введених у культуру, так і дикорослих присвячено низку робіт зарубіжних вчених [14–18].

Так, із метою збереження чотирьох видів звіробою, що через неконтрольований збір стали рідкісними у флорі Туреччини, були детально вивчені умови пророщування насіння цих видів у лабораторних умовах. Отримані дані щодо схожості насіння та подальшого пророщування описані у відповідних протоколах. Результати показали, що розмноження з насіння є життєздатним методом для *ex situ* збереження цих видів [14].

У роботі Vleeshouwers L.M. та співавторів [15] представлено концепцію спокою насіння, в якій інтегровані фізіологія та екологія з метою розширення розуміння спокою насіння та схожості. Вплив чинників навколишнього середовища на проростання насіння деяких видів лікарських рос-

лин наведено в роботах Liza S.A., Vahabinia F., Pérez-García F. [16–18].

Питання насіннезнавства лікарських рослин вивчалися Дослідною станцією лікарських рослин ІАП НААН у рамках НДР «Розробити методи і прийоми визначення посівних якостей насіння лікарських культур» (2006–2010 рр.). Доволі результативними є й селекційні дослідження фахівців станції останнього десятиріччя як із новими видами, так і традиційно культивованими [10; 12; 19–21]. Однак лише комплексний підхід до вирощування конкретної лікарської культури гарантує успіх. Так цілком очевидно, що для повноцінного введення в культуру нових видів лікарських рослин, поряд із веденням селекційного процесу та розробленням технологічних аспектів вирощування, актуальним є розроблення методичних підходів визначення посівних якостей насіння цих видів.

Для вирішення цього завдання нами проаналізовано відповідну наукову літературу та ряд нормативних документів і встановлено відсутність чинних стандартів на методи визначення посівних якостей, а саме схожості насіння, а також технічних умов для переважної більшості видів лікарських рослин, у т. ч. й звіробою звичайного [22–26]. Це визначило **мету наших досліджень** — розробити методичні підходи з визначення схожості насіння звіробою звичайного (*Hypericum perforatum* L.).

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проведено в Незалежній лабораторії екології насінництва ІАП НААН. Лабораторія оснащена обладнанням і матеріалами, необхідними для проведення досліджень та акредитована Національним агентством з акредитації України на відповідність вимогам ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 у сфері визначення посівних якостей насіння сільськогосподарських культур (Атестат про акредитацію зареєстрований у Реєстрі 13 лютого 2022 р. за № 201448 дійсний до 12 лютого 2027 р. Дата первинної акредитації: 13 лютого 2017 р.).

Для аналізування використовували насіння культивуру *Hypericum perforatum* L., надане Дослідною станцією лікарських рослин ІАП НААН.

Відповідно до п. 7 ДСТУ 4138–2002 [22], перед проведенням аналізування проводили підготовку обладнання та субстратів.

З метою встановлення оптимальних методів визначення схожості насіння використовували методи, наведені у ДСТУ 4138–2020, Міжнародних правилах аналізу насіння, ДСТУ 7018:2009, ДСТУ 3657–97 [22–25]. Так, відповідно до Міжнародних правил аналізу насіння [23], спочатку формували середню пробу 5 г, а з неї — робочу 0,5 г, з якої і відбирали насіння для визначення схожості.

Слід зазначити, що схожість (%) — один із основних показників посівних якостей насіння, який характеризує його біологічну і господарську цінність. Мета аналізування — встановлення відсоткової кількості насіння, здатних утворювати нормально розвинуті проростки за оптимальних умов пророщування. Це важливий і обов'язковий показник, що характеризує партію насіння.

З метою більш повної оцінки посівних якостей насіння визначають енергію проростання, яка показує відсоток нормальних проростків за мінімальний термін, що встановлюється для кожної культури. Цей показник характеризує здатність насіння швидко і одночасно проростати.

Схожість насіння звіробою звичайного визначали в чотириразовій повторності. Кількість насіння у кожному повторі — 100 шт.

Насіння основної культури висипали на розбірну дошку та ретельно перемішували. Розрівнювали у формі квадрата та хрестоподібно ділили на чотири частини і з кожної з них шпателем підряд відраховували по 100 насіння для кожного з чотирьох повторів.

Пророщування насіння проводили у чашках Петрі. Як субстрат, використовували фільтрувальний папір та пісок.

Перед аналізуванням пісок зволожували до 60% від його повної вологомисткості.

На зовнішньому боці чашки маркером зазначали дату закладання насіння та номер повтору.

Насіння розкладали на субстрат так, щоб воно не торкалось одне до одного. Відстань між насіннями — не менше 5 мм, що запобігає зараженню здорового насіння від насіння, ушкодженого хворобами.

За пророщування насіння на фільтрувальному папері (нФ) на дно чашки Петрі клали два шари зволоженого у дистильованій воді фільтрувального паперу, на який розкладали насіння. Для зволоження папір занурювали у воду та давали надлишку води стікати (під час натискання пальцем водяна плівка навколо нього не утворюється). За пророщування в піску (вП) — розкладене на ложе насіння покривали тонким шаром піску, залишаючи його пухким. Як за пророщування нФ, так і вП чашки Петрі з розкладеним насінням накривали кришками та поміщували у термостат.

При підборі світлового режиму були проаналізовані дані, як за пророщування насіння за режиму освітлення (С), так і за режиму темряви (Т). Освітлення проводили кожної доби впродовж 8 год. Інтенсивність освітлення не перевищувала 750 лк.

Для зволоження повітря в термостаті на дні встановлювали піддон із водою, яку замінювали кожні три доби. Для забезпечення вентиляції, щоденно на кілька секунд відкривали кришки чашок Петрі, а за потреби проводили зволоження дистильованою водою за допомогою пульверизатора.

Оцінювання та облік пророслого насіння під час визначення енергії проростання та схожості проводили за такими параметрами — нормально проросле насіння, тверде, зігниле, насіння з вираженими ознаками аномалії проростків.

До нормально пророслого відносили насіння з добре і пропорційно розвиненими найбільш важливими структурами (корінець, сім'ядоля, колеоптиль). Ціле й здорове насіння з незначними дефектами тих структур, що не впливають на нормальний розвиток проростка. До них належать і нормально розвинені проростки

з ознаками поверхневої інфекції, набутої від сусідніх хворих насінин.

До непророслого (твердого) відносили набувнявіле насіння, яке на момент остаточного обліку схожості не проросло, але мало здоровий вигляд і за натискання пінцетом не роздавлювалося.

До зігнилого відносили насіння з м'яким ендоспермом, що розклався, почорнілими або зігнилими зародками та корінцями.

До аномально пророслого відносили насіння, що має одне з таких порушень розвитку проростків: немає головного зародкового корінця, або він слаборозвинений чи деформований.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для встановлення особливостей аналізування щодо визначення схожості насіння звіробою звичайного проведено ряд попередніх досліджень із підбору температурних режимів та освітлення. Було зас-

тосовано п'ять варіантів сталих температур: +10°C, +15°C, +20°C, +25°C, +30°C, які витримували впродовж усього періоду аналізування. Пророщування проводили на фільтрувальному папері (табл. 1, 2).

Сприятливі умови для проростання насіння склалися за варіантів (+20°C) та (+25°C) із застосуванням режиму темряви. Показник енергії проростання за таких умов становив 76 та 58, а схожості – 81 і 80% відповідно (див. табл. 1).

Застосування додаткових умов, у вигляді освітлення, не дало позитивних результатів. Показники якості насіння дещо знизились і за варіантів (+20°C) та (+25°C) становили відповідно: енергії проростання – 58 і 49, а схожості – 71 та 67% (див. табл. 2).

Відтак експеримент продовжували із застосуванням режиму темряви (Т).

Подальші дослідження щодо визначення оптимальних температурних режимів проводили із застосуванням шести

Таблиця 1. Енергія проростання та схожість насіння *Hypericum perforatum* L. за сталих температурних режимів у темряві

| Субстрат (ложе) | Світловий режим | Температура, ±2°C | Енергія проростання, % | | Схожість, % |
|--------------------------------|-----------------|-------------------|------------------------|------------|-------------|
| | | | 7-ма доба | 10-та доба | 21-ша доба |
| На фільтрувальному папері (нФ) | Темрява (Т) | 10 | 0 | 0 | 2 |
| | | 15 | 2 | 6 | 11 |
| | | 25 | 47 | 58 | 80 |
| | | 20 | 56 | 76 | 81 |
| | | 30 | 12 | 21 | 34 |

Таблиця 2. Енергія проростання та схожість насіння *Hypericum perforatum* L. за різних температурних режимів на світлі

| Субстрат (ложе) | Світловий режим | Температура, ±2°C | Енергія проростання, % | | Схожість, % |
|--------------------------------|-----------------|-------------------|------------------------|------------|-------------|
| | | | 7-ма доба | 10-та доба | 21-ша доба |
| На фільтрувальному папері (нФ) | Світло (С) | 10 | 0 | 0 | 0 |
| | | 15 | 1 | 5 | 10 |
| | | 25 | 31 | 49 | 67 |
| | | 20 | 41 | 58 | 71 |
| | | 30 | 8 | 14 | 41 |

Таблиця 3. Енергія проростання та схожість насіння *Hypericum perforatum* L. за змінних температурних режимів

| Субстрат (ложе) | Світловий режим | Температура, $\pm 2^{\circ}\text{C}$ | Енергія проростання, % | | Схожість, % |
|--------------------------------|-----------------|--------------------------------------|------------------------|------------|-------------|
| | | | 7-ма доба | 10-та доба | 21-ша доба |
| На фільтрувальному папері (нФ) | Темрява (Т) | 10–15 | 0 | 0 | 0 |
| | | 15–20 | 4 | 9 | 21 |
| | | 20–25 | 9 | 24 | 34 |
| | | 20–30 | 20 | 51 | 77 |
| | | 25–30 | 16 | 24 | 49 |
| | | 30–35 | 0 | 0 | 0 |

варіантів змінних температур: $+10-15^{\circ}\text{C}$, $+15-20^{\circ}\text{C}$, $+20-25^{\circ}\text{C}$, $+20-30^{\circ}\text{C}$, $+25-30^{\circ}\text{C}$, $+30-35^{\circ}\text{C}$. Як субстрат використовували фільтрувальний папір. Метод пророщування – на фільтрі (табл. 3).

Температурні режими застосовували таким чином – нижчу температуру підтримували близько 16 год, вищу – близько 8 год. Кожен із температурних режимів витримували впродовж усього періоду аналізування з точністю $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Максимальні показники енергії проростання та схожос-

ті отримали за варіанта ($+20-30^{\circ}\text{C}$) – 51 та 77% відповідно (див. табл. 3).

На рис. 1 та 2, відображено динаміку проростання насіння із застосуванням різних температурних режимів за пророщування у режимі темряви.

Як видно з рис. 1 та 2, негативний вплив на насіння мали стала ($+10^{\circ}\text{C}$) та змінні ($+10-15^{\circ}\text{C}$) і ($+30-35^{\circ}\text{C}$) температури, за яких проростання насіння не відбувалося. Найкращі умови для проростання насіння фіксували за сталої ($+20^{\circ}\text{C}$) і ($+25^{\circ}\text{C}$) та

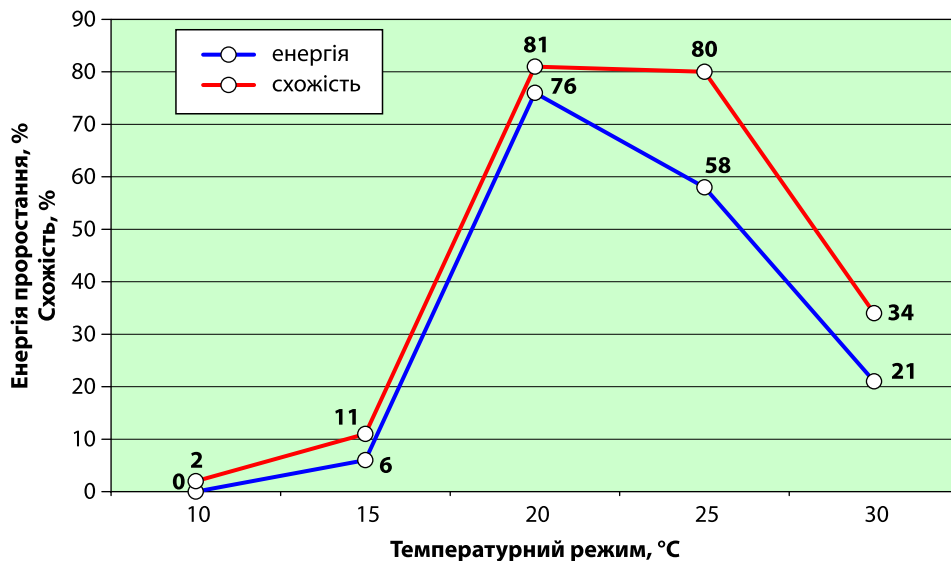


Рис. 1. Динаміка проростання насіння звіробою звичайного (%) за сталих температурних режимів

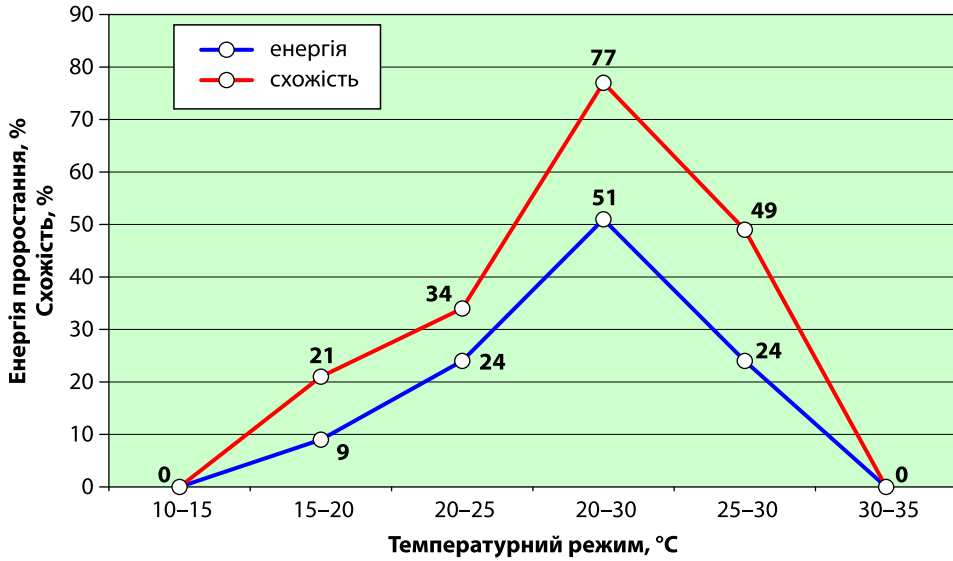


Рис. 2. Динаміка проростання насіння звиробку звичайного (%) за змінних температурних режимів

змінної (+20–30°C) температур. Водночас, початок проростання насіння припадав на 7-му, а пік – на 10-ту добу. Після чого спостерігали зниження інтенсивності про-

ростання, а після 21-ї доби – ріст насіння припинявся.

На рис. 3 графічно відображено розподіл показників енергії проростання та

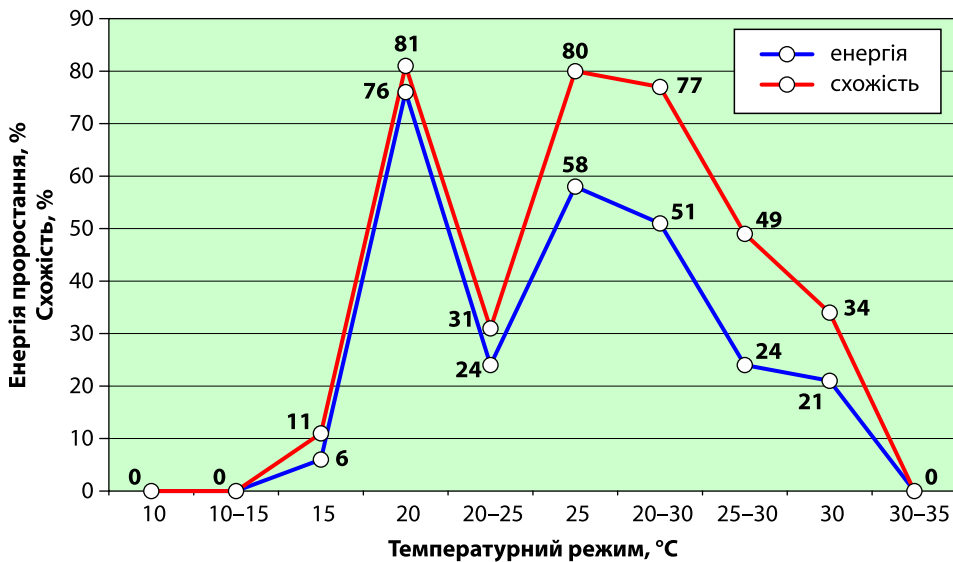


Рис. 3. Розподіл показників енергії проростання та схожості насіння за різних температурних режимів

схожості насіння за різних температурних режимів.

На прикладі, визначеного оптимального змінного температурного режиму (+20–30°C) здійснювали подальші дослідження із встановленням оптимального субстрату та способу пророщування насіння.

Як субстрат використовували фільтрувальний папір та пісок. При підборі способу пророщування, експериментально встановлено, що пророщування в фільтрі (вФ) є недоцільним. У процесі обліковування пророслого насіння виникали незручності. Проростки прилипали до верхнього шару фільтрувального паперу та відокремлювалися від насінин, що унеможливило точний підрахунок. Відтак аналізування проводили двома способами – на фільтрі (нФ) та в піску (вП) (табл. 4).

Паралельно проводили дослідження із використанням сталих температурних режимів: (+20°C) та (+25°C), які за по-

передніми експериментальними даними забезпечували високі показники проростання насіння. Пророщування проводили на фільтрувальному папері (нФ) (див. табл. 4).

Повторність дослідів – триразова.

Оцінювання та облік пророслого насіння здійснювали у визначені дослідним шляхом терміни (див. табл. 4). За першим (на 7-му добу) та другим (на 10-ту добу) строком обліковували енергію проростання. Оцінювали нормально пророслі насінини, а також насінини з вираженими ознаками аномалій та гниття. За проведення остаточного обліку схожості (на 21-шу добу) проводили остаточні підрахунки – нормально проросле насіння, тверде, зігниле, насіння з вираженими ознаками аномалії проростків.

Як видно з табл. 5, використання змінних температур (+20–30°C), як за пророщування на фільтрувальному папері, так і

Таблиця 4. Умови аналізування схожості насіння

| № з/п | Субстрат (ложе) | Температура, ±2°C | Строки обліку, доба | | | Світловий режим |
|-------|--------------------------------|-------------------|---------------------|---------|-------------|-----------------|
| | | | першого | другого | остаточного | |
| 1 | На фільтрувальному папері (нФ) | 20; 25; 20–30 | 7 | 10 | 21 | Темрява (Т) |
| 3 | В піску (вП) | 20–30 | 7 | 10 | 21 | Темрява (Т) |

Таблиця 5. Результати визначення схожості насіння за змінного температурного режиму +20–30°C

| тривалість пророщування | Ложе нФ | | | | | Ложе вП | | | | | |
|-------------------------|---------|-----|-----|-----|------------|-------------------------|-------|-----|-----|-----|------------|
| | проба | | | | середній % | тривалість пророщування | проба | | | | середній % |
| | I | II | III | IV | | | I | II | III | IV | |
| 7 | 18 | 20 | 18 | 20 | 51 | 7 | 16 | 15 | 14 | 15 | 48 |
| 10 | 29 | 34 | 32 | 33 | | 10 | 35 | 30 | 35 | 32 | |
| 21 | 33 | 20 | 27 | 24 | 26 | 21 | 26 | 30 | 27 | 29 | 28 |
| Всього нормальних | 79 | 75 | 78 | 77 | 77 | | 74 | 77 | 78 | 76 | 76 |
| Залишилось всього | 21 | 25 | 22 | 23 | 23 | | 26 | 23 | 22 | 24 | 24 |
| Разом | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Таблиця 6. Результати визначення схожості насіння за сталих температурних режимів (+20°C; +25°C)

| Ложе нФ (+20°C) | | | | | | Ложе нФ (+25°C) | | | | | |
|-------------------------|-------|-----|-----|-----|------------|-------------------------|-------|-----|-----|-----|------------|
| тривалість пророщування | проба | | | | середній % | тривалість пророщування | проба | | | | середній % |
| | I | II | III | IV | | | I | II | III | IV | |
| 7 | 12 | 14 | 11 | 11 | 76 | 7 | 10 | 11 | 8 | 9 | 58 |
| 10 | 77 | 78 | 74 | 75 | | 10 | 58 | 59 | 56 | 58 | |
| 21 | 81 | 83 | 80 | 79 | 81 | 21 | 81 | 82 | 79 | 78 | 80 |
| Всього нормальних | 81 | 83 | 80 | 79 | 81 | | 81 | 82 | 79 | 78 | 80 |
| Залишилось всього | 19 | 17 | 20 | 19 | 19 | | 19 | 18 | 21 | 22 | 20 |
| Разом | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

в піску, позитивно впливало на проростання насіння. Водночас, показники схожості становили 77 та 76, а енергії проростання відповідно 51 і 49%. Кількість насіння, що залишилося непророслим сягало 23 та 24% відповідно. Зігнилого та аномально пророслого насіння не було виявлено як при підрахунку енергії проростання, так і схожості (див. *табл. 5*).

До того ж, слід зазначити, що використання піску в якості субстрату для пророщування мало ряд незручностей. Звіробій звичайний належить до дрібнонасінних культур, що ускладнювало підрахунок та оцінювання структури непророслого насіння. Однак, за потреби, метод може бути рекомендований для використання.

Як уже зазначалося, за сталих температурних режимів (+20°C) та (+25°C) пророщування насіння проводили на фільтрувальному папері (*табл. 6*). За результатами проведених обліків, схожість насіння при цьому відповідно становила 81% і 80, а енергія проростання 76 та 58%. Кількість насіння, що залишилося непророслим становило 19 та 20% відповідно. Зігнилого та аномально пророслого насіння, за обох застосованих температур, не було виявлено як при підрахунку енергії проростання, так і схожості.

Отже, експериментально встановлено методичні підходи та особливості визначення показників енергії проростання та

схожості насіння звіробою звичайного, а саме – субстрат та спосіб пророщування, температурні та світловий режими, строки проведення обліків.

Втім, слід зазначити, що потребують проведення додаткових досліджень та уточнень питання щодо методики оцінки схожості та енергії проростання свіжо-зібраного насіння звіробою звичайного.

ВИСНОВКИ

Методичними особливостями визначення показників енергії проростання та схожості насіння звіробою звичайного (*Hypericum perforatum* L.) є можливість використання фільтрувального паперу або піску як субстрату для пророщування. Спосіб пророщування – на фільтрувальному папері (нФ) та в піску (вП). Оптимальним субстратом є фільтрувальний папір, а спосіб пророщування – на фільтрі (нФ). Рекомендованими для пророщування є стала (+20°C) та змінна (+20–30°C) температура. Строки проведення обліків: енергії проростання – 10, схожості – 21-ша доба.

За результатами досліджень підготовлено методичні рекомендації з визначення посівних якостей насіння звіробою звичайного (*Hypericum perforatum* L.) [27], що рекомендовані для використання випробувальними лабораторіями, насінневими заводами та науково-дослідними установами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чопик В.И., Дудченко Л.Г., Краснова А.Н. Дикорастущие полезные растения Украины. Справочник. Київ: Наукова думка, 1983. 400 с.
2. Лікарські рослини: традиції та перспективи досліджень. Бюро Президії НААН. URL: http://naas.gov.ua/news/?ELEMENT_ID=2829
3. Попова Н.В., Литвиненко В.И., Куцанян А.С. Лекарственные растения мировой флоры: энциклопед. справочник. Харьков: Диска плюс, 2016. 540 с.
4. *Hypericum*. Edzard Ernst. London and New York. Taylor & Francis Group, 2003. 233 p.
5. Мінарченко В.М. Лікарські судинні рослини України (медичне та ресурсне значення). Київ: Фітосоціоцентр, 2005. 324 с.
6. Сивоглаз Л.М. Режим невиснажливого використання фіторесурсів *Hypericum perforatum* L. *Український ботанічний журнал*. 1999. Т. 56. № 2. С. 166–169.
7. Семак Б.Б., Барна М.Ю., Демкевич Л.І. Вітчизняний ринок лікарської рослинної сировини: проблеми і рішення. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Вип. 21.1. С. 264–268.
8. Паляничко Н.І., Ольхович С.Я., Крохтяк О.В. Сучасний стан виробництва лікарської рослинної сировини в Україні. *Збалансоване природокористування*. 2019. № 2. С. 81–87.
9. Федько Р.М., Шевченко Т.Л., Калініна М.А., Федько Л.А. Вирощування лікарських рослин на сільських селітебних територіях: переваги та проблеми. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 7 (796). С. 68–74.
10. Дем'янюк О.С., Глущенко Л.А. Лікарські рослини: традиції та перспективи досліджень. *Сортівчення та охорона прав на сорти рослин*. 2016. № 4 (33). С. 87–93.
11. Обзор рынка лекарственного растительного сырья Украины 2017: аналитический сборник. Маркетинговая компания «Синергия», 2018. 40 с.
12. Шелудько Л.П., Куценко Н.І. Лікарські рослини (селекція і насінництво). Полтава: Друк ТОВ «Копі-центр», 2013. 476 с.
13. Макрушин М.М., Макрушина Є.М. Насінництво. Сімферополь: ВД «Аріал», 2011. 476 с.
14. Cuneay Cirak. Seed Germination Protocols for Ex situ Conservation of Some *Hypericum* species from Turkey. *American Journal of Plant Physiology*. 2007. 2. P. 287–294. DOI: 10.3923/ajpp.2007.287.294 URL: <https://scialert.net/abstract/?doi=ajpp.2007.287.294>
15. Vleeshouwers L.M., Bouwmeester H.J., Karsen C.M. Redefining seed dormancy: an attempt to integrate physiology and ecology. *Journal of Ecology*. 1995. 83. P. 1031–1037. DOI: <https://doi.org/10.2307/2261184>. <https://www.jstor.org/stable/2261184>
16. Liza S.A., Rahman M.O., Uddin M.Z. et al. Reproductive biology of three medicinal plants. *Bangladesh Journal of Plant Taxonomy*. 2010. 17 (1). P. 69–78.
17. Vahabinia F., Pirdashti H., Bakhshandeh E. Environmental factors' effect on seed germination and seedling growth of chicory (*Cichorium intybus* L.) as an important medicinal plant. *Acta Physiol Plant*. 2019. 41 (27). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2820-2>
18. Pérez-García F., Huertas M., Mora E. et al. *Hypericum perforatum* L. Seed Germination: Interpopulation Variation and Effect of Light, Temperature, Pre-sowing Treatments and Seed Desiccation. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2006. 53. P. 1187–1198. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-005-2012-3>
19. Куценко Н.І., Деркач В.О., Куценко О.М. та ін. Методичні рекомендації по веденню насінництва однорічних лікарських рослин. Лубни: Комунальне вид-во «Лубни», 2013. 15 с.
20. Куценко О.О., Глущенко Л.А., Куценко Н.І. Встановлення оптимальних зон насінництва перспективного сорту козлятника лікарського Чародій та уточнення методичних питань щодо визначення посівних якостей його насіння. *Збалансоване природокористування*. 2020. № 2. С. 110–118.
21. Куценко О.О., Федорчук М.І., Свіденко Л.В. та ін. Методичні рекомендації з ведення зонального насінництва лікарських та ефіроолійних культур. Лубни: ВКФ «Інтер Парк», 2020. 34 с.
22. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур: Методи визначення якості. [Чинний від 2004-01-01]. Київ: Держстандарт України, 2003. 173 с.
23. Международные правила анализа семян / пер. с англ. Н.Н. Антошкиной. Москва: Колос, 1984. 310 с.
24. ДСТУ 7018:2009. Насіння квітково-декоративних культур: Правила приймання і методи визначення якості. [Чинний від 2011-01-01]. Київ: Держстандарт України, 2010. 54 с.
25. ДСТУ 3657-97. Насіння ефіроолійних культур: Метод визначення схожості. [Чинний від 1993-07-01]. Київ: Держстандарт України, 1992. 12 с.
26. ГОСТ 34221-2017. Межгосударственный стандарт. Семена лекарственных и ароматических культур. Сортавые и посевные качества. Общие технические условия. [Дата введення 2019-01-01]. Москва: Стандартинформ, 2017. 24 с.
27. Дем'янюк О.С., Кічігіна О.О., Янєс Л.А. та ін. Визначення посівних якостей насіння звіробою звичайного (*Hypericum perforatum* L.). Методичні рекомендації. Київ: ДІА, 2021. 24 с.

REFERENCES

1. Chopyk, V., Dudchenko, L. & Krasnova, A. (1983). *Dikorastushchiye poleznyye rasteniya Ukrainy [Wild useful plants of Ukraine. Directory]*. Spravochnik. Kyiv. Naukova dumka [in Russian].

2. Likarski roslyny: tradytsiyi ta perspektyvy doslidzhen. Byuro Prezydiyi NAAN [Medicinal plants: traditions and prospects of research. Bureau of the Presidium of NAAS]. (2016). URL: http://naas.gov.ua/news/?ELEMENT_ID=2829 [in Ukrainian].
3. Popova, N.V., Litvinenko, V.I. & Kutsanyan, A.S. (2016). *Lekarstvennyye rasteniya mirovoy flory [Medicinal plants of the world flora]*. Kharkiv [in Russian].
4. Ernst, E. (Ed.). (2003). *Hypericum*. London. Taylor & Francis Group, 256. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780367800963> [in English].
5. Minarchenko, V. (2005). *Likarski sudynni roslyny Ukrainy (medychne ta resursne znachennya) [Medicinal vascular plants of Ukraine (medical and resource value)]*. Kyiv. Fitosotsiotsentr, 323. URL: <http://irbis-nbuv.gov.ua/ulib/item/UKR0008784> [in Ukrainian].
6. Syvohlaz, L.M. (1999). Rezhym nevnazhlyvoho vykorystannya fitoresursiv *Hypericum perforatum* L. [Mode of inexhaustible use of phytoresources *Hypericum perforatum* L.]. *Ukrayinskyi botanichnyy zhurnal – Ukrainian botanical journal*, 56 (2), 166–169 [in Ukrainian].
7. Semak, B., Barna, M. & Demkevich, L. (2011). Vitchyznyanyy rynek likarskoyi roslynnoyi syrovyny: problemy i rishennya [Domestic market of medicinal plant raw materials: problems and solutions]. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrainy – Scientific Bulletin of UNFU*, 21.1, 264–268 [in Ukrainian].
8. Palyanichko, N.I., Olkhovich, S.Y. & Krokhtyak, O.V. (2019). Suchasnyy stan vyrobnytstva likarskoyi roslynnoyi syrovyny v Ukraini [The current state of production of medicinal plant raw materials in Ukraine]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannya – Balanced nature management*, 2, 81–87. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2019.184161> [in Ukrainian].
9. Fedko, R.M., Shevchenko, T.L., Kalinina, M.A. & Fedko, L.A. (2019). Vyroshchuvannya likarskykh roslyn na silskykh selitebnykh terytoriyakh: perevahy ta problemy [Growing medicinal plants in rural areas: advantages and problems]. *Visnyk ahraryoi nauky nauky – Bulletin of Agrarian Science*, 7 (796), 68–74. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201907-10> [in Ukrainian].
10. Demyanyuk, O.S. & Glushchenko, L.A. (2016). Likarski roslyny: tradytsiyi ta perspektyvy doslidzhen [Medicinal plants: traditions and prospects of research]. *Sortovychnennya ta okhorona prav na sorty Roslyn – Plant Varieties Studing and Protection*, 4 (33), 87–93. DOI: [https://doi.org/10.21498/2518-1017.4\(33\).2016.88691](https://doi.org/10.21498/2518-1017.4(33).2016.88691) [in Ukrainian].
11. Obzor rynku lekarstvennogo rastitelnogo syrya Ukrainy 2017 [Review of the market of medicinal plant raw materials of Ukraine 2017]. (2018). URL: <https://oaji.net/pdf.html?n=2017/727-1544607301.pdf> [in Russian].
12. Sheludko, L.P. & Kutsenko, N.I. (2013). *Likars'ki roslyny (selektsiya i nasinnytstvo) [Medicinal plants (breeding and seed production)]*. Poltava [in Ukrainian].
13. Makrushin, M.M. & Makrushina, E.M. (2011). *Nasinnytstvo [Seed production]*. Simferopol. URL: <https://www.twirpx.com/file/1493891/> [in Ukrainian].
14. Cirak, C. (2007). Seed germination protocols for Ex situ conservation of some *Hypericum* species from Turkey. *American Journal of Plant Physiology*, 2 (5), 287–294. URL: <https://scialert.net/abstract/?doi=ajpp.2007.287.294> [in English].
15. Vleeshouwers, L.M., Bouwmeester, H.J. & Karsen, C.M. (1995). Redefining seed dormancy: an attempt to integrate physiology and ecology. *Journal of Ecology*, 83 (6), 1031–1037. URL: <https://www.jstor.org/stable/2261184>. doi.org/10.2307/2261184 [in English].
16. Liza, S.A., Rahman, M.O., Uddin, M.Z. et al. (2010). Reproductive biology of three medicinal plants. *Bangladesh Journal of Plant Taxonomy*, 17 (1), 69–78. DOI: <https://doi.org/10.3329/bjpt.v17i1.5391> [in English].
17. Vahabinia, F., Pirdashti, H. & Bakhshandeh, E. (2019). Environmental factors' effect on seed germination and seedling growth of chicory (*Cichorium intybus* L.) as an important medicinal plant. *Acta Physiol Plant*. 41 (27). URL: <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2820-2> [in English].
18. Pérez-García, F., Huertas, M., Mora, E. et al. (2006). *Hypericum perforatum* L. Seed germination: interpopulation variation and effect of light, temperature, presowing treatments and seed desiccation. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53 (6), 1187–1198. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-005-2012-3> [in English].
19. Kutsenko, N.I., Derkach, V.O., Kutsenko, O.M. et al. (2013). *Metodychni rekomendatsiyi po vedennyu nasinnytstva odnorichnykh likarskykh roslyn [Methodical recommendations for seed production of annual medicinal plants]*. Lubny [in Ukrainian].
20. Kutsenko, O.O., Glushchenko, L.A. & Kutsenko, N.I. (2020). Vstanovlennya optymalnykh zon nasinnytstva perspektyvnoho sortu kozlyatnyka likarskoho Charodiy ta utochnennya metodychnykh pytan shchodo vyznachennya posivnykh yakostey yoho nasynnya [Establishment of optimal seed-growing zones of a promising variety of medicinal goat and clarification of methodological issues for determining the sowing qualities of its seeds]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannya – Balanced nature management*, 2, 110–118. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2020.208820> [in Ukrainian].
21. Kutsenko, O.O., Fedorchuk, M.I., Svidenko, L.V. et al. (2020). *Metodychni rekomendatsiyi z vedennya zonalnogo nasinnytstva likarskykh ta efirooliynykh kultur [Methodical recommendations for zonal seed production of medicinal and essential oil crops]*. Lubny [in Ukrainian].
22. Nasynnya silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennya yakosti [Seeds of agricultural crops: Methods for determining the quality]. (2003). *DSTU 4138-2002 from 1st January 2004*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].

23. Antoshkina, N.N. (1984). *Mezhdunarodnyye pravila analiza semyan. [International rules of seed analysis]*. Moscwa [in Russian].
24. Nasinnya kvitkovo-dekoratyvnykh kultur: Pravyla pryymannya i metody vyznachennya yakosti [Seeds of flower and ornamental crops: Rules of acceptance and methods of determining quality]. (2010). *DSTU 7018:2009 from 1st January 2011*. Kyiv. Derzhstandart Ukrayiny [in Ukrainian].
25. Nasinnya efirooliynykh kultur: Metod vyznachennya skhozhosti [Seeds of essential oil crops: Method of determining germination]. (1992). *DSTU 3657-97 from 1st July 1993*. Kyiv: Derzhstandart Ukrayiny [in Ukrainian].
26. Semena lekarstvennykh i aromatischeskikh kultur. Cortovyye i posevnyye kachestva. Obschchiye tekhnicheskiye usloviya [Seeds of medicinal and aromatic crops. Varietal and sowing qualities. General specifications]. (2017). *ГОСТ 34221-2017 from 1st January 2019*. Moskva. Standartinform [in Ukrainian].
27. Demyanyuk, O.S., Kichigina, O.O. & Jance, L.A. (2021). *Vyznachennya posivnykh yakostey nasinnya zviroboyu zvychaynoho (Hypericum perforatum L.). Metodychni rekomendatsiyi [Determination of sowing qualities of seeds of St. John's wort (Hypericum perforatum L.). Guidelines]*. Kyiv. URL: <https://www.twirpx.com/file/3634856/> [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 22.04.2022

ХЛІБОПЕКАРСЬКИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТРИТИКАЛЕ ОЗИМОГО (*TRITICOSECALE WITTMACK EL. CAMUS*) ПОЛІСЬКОГО ЕКОТИПУ

А.М. Кирильчук

Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України» (м. Київ, Україна)
e-mail: angela.kyrylchuk@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3948-5810

Висвітлено результати експериментальної роботи з оцінки хлібопекарської здатності нових сортів тритикале озимого поліського екотипу, які проводили у відділі селекції і насінництва зернових культур ННЦ «Інститут землеробства НААН», розташованого в Фастівському р-ні Київської обл. у 2016–2018 рр. Пружність (P) тіста в середньому по сортах виявлена на рівні 67,2 мм, що відповідає за показником пшениці «добрий філер», та по сортах варіювала від 44 мм (показник «слабкої пшениці») у сорту Аристократ до 87 мм («задовільний полішувач») у сорту Котигорошко. Розтяжність (L) тіста по сортах варіювала від 18 мм (Аристократ) до 30 мм (Любомир) і в середньому становила 23,5 мм. Розтяжність тіста тісно корелює з такими показниками, як С, індексом розширення та площею середньої діаграми ($r=0,62-0,67$). За результатами розрахунків відношення P/L у сортів тритикале озимого поліського екотипу варіювало від 1,7 одиниці у сорту Волемир до 4,4 од. у сорту Котигорошко, та в середньому виявлено на рівні 2,9 од., ближчим до оптимального значення є сорт тритикале озимого поліського екотипу Волемир. За показником альвеографа «сила» борошна, було виділено сорти тритикале озимого поліського екотипу Солодюк та Любомир, які достовірно переважали над сортом стандартом Поліський 7 ($НІР_{05}=17$) й становили відповідно 93 Дж і 76 Дж. Кількість «сирої» клейковини по сортах тритикале озимого варіювала від 6,4% у сорту Аристократ до 15,0% у зразка КС 9-17 та в середньому становила 11,8%. Після висушування кількість «сухої» клейковини варіювала від 2,38% до 5,04%, та в середньому становила 3,9%, що сягало 33% від кількості «сирої» клейковини. Найвищий показник гідратаційної здатності (233,3%) спостерігався в сорту Петрол порівняно до сорту стандарту Поліський 7 достовірно перевищив його на 47,6 од. ($НІР_{05}=14$). Клейковина тритикале за фізичними властивостями нагадує слабку пшеничну з низькою пружністю і еластичністю. Туа клейковина тритикале дає можливість спекти добрий хліб. Об'ємний вихід хлібців із тритикалевого борошна в середньому становив 298 мл та варіював від 260 мл у сорту Поліський 7 до 345 мл у сортів Фанат і Солодюк. Виділені сорти тритикале озимого поліського екотипу з задовільною хлібопекарською якістю, за пшеничною технологією випічки без додавання полішувачів, доцільно використовувати в хлібопекарській промисловості.

Ключові слова: білок, пружність, еластичність, клейковинний комплекс, газотворювальна здатність, хлібопекарські властивості.

ВСТУП

Тритикале (*Triticosecale Wittmack el. Camus*) — перша зернова культура, якої в природі не існує. Його отримали методом схрещування пшениці (*Triticum aestivum* L.) з житом (*Secale cereale* L.) шляхом поєднання хромосомних комплексів двох різних ботанічних родів, із метою поєднати в одному зерні хлібопекарні властивості пшениці та непримхливість жита.

Цікавість до тритикале викликана великими можливостями цієї культури. Злак володіє відмінним потенціалом урожайності, підвищеною морозостійкістю, стійкістю до вірусів і грибів (майже не вражається борошністою рососою, твердою та летючою сажкою, бурою іржею), не вимагає високих показників родючості ґрунту. Тритикале чудово переносить посуху та заморозки, його можна вирощувати на таких ділянках, де вирощування традиційних сортів пшениці озимої досить ускладнене. Пере-

вагою тритикале є висока пристосованість до різних типів ґрунтів, спроможність рости на всіх ґрунтах, у т. ч. на кислих і переволожених ґрунтах Полісся.

До недоліків, властивих тритикале, належать: велика варіація врожайності за роками, схильність до вилягання та проростання зерна в колосі, слабка виповненість зерна у деяких форм, пізньостиглість, ураження сніговою пліснявою та кореневими гнилями. Однак усунути перелічені недоліки можливо за допомогою селекції — створення нових сортів тритикале з високим потенціалом продуктивності, стійкості проти вилягання та проростання зерна, з гарною зимостійкістю та більш коротким періодом вегетації.

Основна частина врожаю *Triticosecale Wittmack el. Camus* використовується для виробництва комбікормів. Однак борошно з цього злаку — рідкий гість у пекарнях, більше того, мало хто про такий навіть чув. Та завдяки специфічним властивостям білків, клейковини борошно з тритикале широко використовується в кондитерській промисловості. Кекси, печиво, пряники, з борошна тритикале отримують більш якісними, ніж продукція, виготовлена з пшеничного борошна, випічка має високі смакові якості та повільно черствіє.

Високу поживну цінність продуктів із тритикале забезпечує білок, який має підвищений вміст незамінних амінокислот. У білка присутні такі незамінні речовини, як лізин, валін, треонін, гліцин, аргінін та ін. За вмістом лізину тритикале значно переважає пшеницю, в зерні якого знаходиться близько 3% від загальної кількості білка. За своїми харчовими якостями тритикале переважає пшеницю, а за хлібопекарними — жито.

Зерно тритикале характеризується підвищеною зольністю, більш низьким вмістом вуглеводних компонентів і присутністю в ньому специфічного вуглеводу жита — трифруктозану. Білки зерна тритикале в середньому містять 5–10% альбумінів, 6–7 глобулінів, 30–37 проламінів і 15–20% глютамінів. У зерні міститься велика кількість β-каротину, фосфору, калію, міді, цинку,

кальцію, натрію, марганцю, заліза, вітаміни групи В, РР і Е.

За вмістом клейковини утворюючих білків тритикале дещо переважає жито та наближається до пшениці. Кількість клейковини в зерні тритикале наближається до її вмісту в пшениці. За якістю клейковини тритикале в більшості випадків має нижчі показники через вміст у ній білків житнього типу.

Мета досліджень полягала у вивченні нових сортів тритикале озимого поліського екотипу власної селекції на вміст і якість клейковини в борошні та оцінки хлібопекарської якості з метою використання в хлібопеченні.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У сільськогосподарському виробництві світу культура *Triticosecale Wittmack el. Camus* займає з кожним роком більш помітне місце, станом на 2016 р. площі посівів досягали 4,0 млн га. Зацікавленість до цієї культури в світі велика. Про це свідчить той факт, що міжнародне сортовипробування тритикале проводиться в 75 країнах світу [1]. В Україні ж по цій культурі статистику площ та валових зборів навіть не проводять, її фіксують тільки поєднуючи з пшеницею [2]. За даними Державної служби статистики України, в господарствах усіх категорій під урожай 2018 р. пшеницею засіяно — 6,274 млн га, житом — 149,4 тис. га, тритикале — 16 тис. га [3]. Під урожай 2019 р., посівна площа озимих зернових в Україні становила 7,58 млн га, зокрема пшеницею засіяно 6,45 млн га, житом — 115,1 тис. га, тритикале — 13,3 тис. га [3]. Під урожай 2020 та 2021 рр. площі засіяні тритикале скоротились і становили 11,6 тис. га й 10,4 тис. га відповідно [4].

Глобальною проблемою сучасності є дефіцит білка. Останній не тільки «будівний» матеріал для створення клітин, тканин і органів, він бере безпосередню участь у синтезі ферментів, гормонів, необхідний для утворення гемоглобіну, підтримки імунітету, для здійснення обмінних процесів тощо. Впровадження у виробництво ви-

соковрожайних сортів пшениці збільшив валовий збір зерна, проте вміст білка в ньому різко зменшився. Тому, в плані рішення проблеми рослинного білка, безперечний інтерес має тритикале, що за вирощування в рівних умовах, накопичує в зерні білка більше, ніж пшениця та жито, відповідно на 1,0–2,0% та 3,0–4,0% [5].

Наразі актуальним є розробка комплексної технології перероблення зерна тритикале, спрямованої на істотне зниження дефіциту білка та інших цінних речовин у раціоні населення. Для вирішення цього завдання було проведено дослідження щодо глибокої переробки зерна тритикале, які включали три основні напрями: підготовка зерна до помелу, отримання концентрованих білково-вуглеводних і білково-ліпідних продуктів, отримання різних видів харчового тритикалевого борошна і круп [6].

Із зерна тритикале виробляють борошно першого, другого ґатунку і обойне. Згідно з нормативною документацією вміст клейковини має бути: у борошні першого ґатунку не менше 18%, другого та обойного — 16% [7].

Дослідження хімічного складу борошна тритикале, проведені Т.О. Федоровою, показали: масова частка білка в обойному тритикаловому борошні становить у середньому 12,8%, що перевищує його вміст у пшеничному і житньому обойному борошні. Встановлено, що обойне борошно із зерна тритикале з перевагою фенотипу жита має кращий, ніж пшеничне, хімічний склад за вмістом незамінних амінокислот, мінеральних речовин, вітамінів. У тритикаловому борошні міститься 4,1–4,7% моно- і дисукрів, що перевищує їх вміст у пшеничному борошні на 0,5–1,1% і менше, ніж у житньому, на 1,1–1,5% і має забезпечити його високу газоутворювальну здатність [8].

Хлібопекарські властивості зерна та якість борошна оцінюють за вмістом і якістю клейковини. Встановлено, що зерно тритикале, порівняно з пшеницею, характеризується нижчим вмістом клейковини. За різними літературними даними, вміст клейковини в зерні тритикале варіює від

18 до 29% залежно від погодних умов та від норм і строків застосування азотних добрив [9–12].

Низку досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених було присвячено розробці науково обґрунтованих рецептур і технологічних параметрів приготування хлібобулочних виробів із борошна тритикале. На думку авторів, *Triticosecale Wittmack* еl. *Samus* є перспективною культурою для розширення сировинної бази хлібопекарської галузі в технології зернових хлібобулочних виробів, доцільно застосовувати додавання борошна з тритикале при випіканні хліба з пшеничного борошна, оскільки вона збільшує засвоюваність і поживну цінність пшеничного хліба. Визначено й рекомендовано раціональне співвідношення борошна пшеничного вищого сорту та тритикалевого борошна, яке має становити 40:60 [8; 13; 14].

Широко дослідження хлібопекарських властивостей тритикале проводяться в Польщі, США, Німеччині, Англії, Австралії. В Америці запатентовано спосіб приготування хліба з високим вмістом клітковини. Згідно з рецептурою способу з борошна складається з лушпиння гороху і зерна тритикале. У Німеччині проведено комплексні дослідження хлібопекарських властивостей борошна тритикале з високоактивною α -амілазою. Німецькі вчені обґрунтували можливість застосування борошна тритикале для підвищення якості хліба з житнього та пшеничного борошна зі зниженими хлібопекарськими властивостями. В Австралії розроблено велику кількість рецептур виробів із борошна тритикале та з його додаванням [15].

Борошно тритикале відмінно підходить для бездріжджового тіста, яке використовується для приготування печива, крекерів. У Польщі печуть житній хліб на основі особливого ферментативного тіста з додаванням тритикалевого борошна. Важливе місце тритикале займає у виготовленні дієтичного хліба для осіб, які страждають порушенням обміну речовин [8].

Третичною Т.М. рекомендовано рецептури виробів із тритикале, які належать

до групи продуктів лікувально-профілактичного призначення [16].

За твердженням вчених, вафельні виробу зі 100% борошна тритикале відрізняються найбільшою крихкістю і вираженими хрусткими властивостями [17].

Як зазначає Т.О. Федорова, тісто із тритикалевого борошна за властивостями ближче до житнього. Зерно тритикале доцільно переробляти у борошно обойне (95%) та обдирне (87%) за традиційними схемами помелу жита. Хліб із такого борошна, випечений за схемою житнього хліба (приготовлений на густих заквасках), наближається за якістю до аналогічних виробів із жита [8]. Крохмаль тритикале клейстеризується за температури 56,5°C, жита — 52–55°C, тоді як пшеничний — 60–67°C [18].

Хліб із борошна тритикале має характерний трохи солодкий смак, відрізняється від хліба із борошна пшеничного вищою кислотністю та вологістю. Натомість хліб пшеничний має більший об'єм та шпаруватість. При виготовленні житнього хліба житнє борошно можна повністю замінювати борошном тритикале, яке вигідно підвищує біологічну цінність продукту [19].

У численних працях українських і зарубіжних науковців переконливо доведено можливість і доцільність застосування зерна тритикале для виробництва зернового хліба з високими фізико-хімічними й органолептичними показниками якості. Розроблено низку рецептур виготовлення хліба та хлібобулочних виробів із борошна тритикале. Розроблені методики передбачають як використання борошна тритикале в якості поліпшувача, так і для виробництва хліба з тритикалевого борошна в чистому вигляді.

В умовах загострення проблеми залежності зернового господарства від зовнішнього середовища, саме з тритикале пов'язують потужний фактор стабілізації вирощування зернових у специфічних ґрунтово-кліматичних умовах Полісся і західних районах України. Тритикале володіє величезним потенціалом урожайності, підвищеною морозостійкістю, стійкістю

проти вірусів і грибів, не потребує високих показників родючості ґрунту, чудово переносить посуху і приморозки, його можливо вирощувати на таких ділянках, де вирощування традиційних сортів пшениці озимої вельми складне [11]. Порівняно із зерновими, в зв'язку з високою поживною цінністю зерна тритикале, вивчення сортів останнього за хлібопекарською якістю є актуальним.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні роботи з оцінки хлібопекарської здатності нових сортів тритикале озимого поліського екотипу проводили у відділі селекції і насінництва зернових культур ННЦ «Інститут землеробства НААН» у 2016–2018 рр.

Зерно *Triticosecale Wittmack* el. *Camus* відбирали згідно з ДСТУ [20]. Аналіз показників якості насіння визначали на приладі Infratec 1241. Аналіз показника кількості сирової клейковини визначали на приладі ВДК-1. Визначення маси сухої клейковини та її гідратаційної здатності проводили згідно з Методичними вказівками [21; 22].

Фізичні властивості тіста визначали за допомогою приладу альвеографа, розробленого французькою компанією Шопен (Chopin), хлібопекарні властивості — за Методикою державного сортопробування сільськогосподарських культур [23].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Одним з основних видів сировини хлібопекарських підприємств України є пшеничне та житнє борошно. Культура тритикале та її борошно, через низьку поінформованість залишається для українських виробників сільськогосподарської продукції малопривабливою та неактуальною. Однак у системі агропромислового комплексу успішні мають лише ті господарі, які застосовують новітні технології виробництва.

Згідно з ДСТУ 4762:2007 «Тритикале. Технічні умови» [20] для виробництва борошна використовують зерно тритикале

першого та другого класів. В основі механізмів ціноутворення на продовольче зерно та борошно лежить об'єктивність визначення хлібопекарської якості тритикале. Реологічні властивості тіста – це комплексний показник, який описує стан і поведінку тіста під час замісу впродовж усього технологічного процесу. Маючи інформацію щодо пружності тіста, розтяжності, водопоглинальної здатності – можна стверджувати про характеристику та якість готового продукту [24].

Пружність (Р) тіста, здатність тіста відновлювати форму після деформації, в середньому по сортах виявлена на рівні 67,2 мм, що відповідає за показником пшениці «добрий філер», та по сортах коливалась від 44 мм (показник «слабкої пшениці») у сорту Аристократ до 87 мм («задовільний поліпшувач») у сорту Котигорошко (табл. 1). Встановлений прямий кореляційний зв'язок між показниками пружність тіста та співвідношення Р/Л ($r=0,80$) і сила борошна ($r=0,74$).

Розтяжність (L) тіста, питомі витрати енергії на деформацію тіста, по сортах варіювала від 18 мм (Аристократ) до 30 мм (Любомир) і в середньому становила

23,5 мм. Розтяжність тіста тісно корелює з такими показниками, як С, індексом розширення та площею середньої діаграми ($r=0,62-0,67$).

За результатами розрахунків відношення Р/Л у сортів тритикале озимого польського екотипу коливалось від 1,7 од. у сорту Волемир до 4,4 од. у сорту Котигорошко, та в середньому виявлено на рівні 2,9 од. Відомо, що співвідношення Р/Л – 1,2–1,3 од. характерне для тіста з високою якістю клейковини [25], отже ближчим до оптимального значення є сорт тритикале озимого польського екотипу Волемир, який може бути використаний у хлібопеченні.

Для тіста із борошна тритикале з низьким умістом клейковини та пониженою розтяжністю характерним є недостатня збалансованість відношення пружності (Р) до розтяжності (L), воно виражається підвищеними значеннями відношення Р/Л.

Показник С – величина, яка залежить від індексу розширення G, її знаходять за таблицею поданою в Методиці проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні «Значення С залежно від показника G», або за формулою $S=1,2G^2$.

Таблиця 1. Зміна показників альвеографа залежно від сорту тритикале озимого польського екотипу

| Сорт | Показник альвеографа | | | | | | |
|-------------------|----------------------|---------------------|-----|-----|---------------------|---|----------------------|
| | пружність (Р), мм | розтяжність (L), мм | Р/Л | С | індекс розширення G | площа середньої діаграми (S), см ² | сила борошна (W), Дж |
| Поліський 7 | 64 | 23 | 2,8 | 100 | 9,1 | 10,1 | 48 |
| Мольфар | 66 | 23 | 2,9 | 106 | 9,4 | 11,4 | 58 |
| Петрол | 77 | 24 | 3,2 | 106 | 9,4 | 13,0 | 63 |
| Волемир | 50 | 29 | 1,7 | 91 | 8,7 | 11,8 | 41 |
| Фанат | 66 | 24 | 2,8 | 96 | 8,9 | 10,3 | 45 |
| Солодюк | 72 | 25 | 2,9 | 120 | 10,0 | 17,7 | 93 |
| Любомир | 79 | 30 | 2,6 | 135 | 10,6 | 15,3 | 76 |
| Котигорошко | 87 | 20 | 4,4 | 94 | 8,6 | 12,6 | 65 |
| Маєток поліський | 76 | 21 | 3,6 | 96 | 8,9 | 11,2 | 55 |
| Аристократ | 44 | 18 | 2,4 | 82 | 8,3 | 5,3 | 27 |
| КС 9-17 | 58 | 22 | 2,6 | 94 | 8,6 | 8,9 | 42 |
| НІР ₀₅ | 12 | 3 | 1,0 | 14 | 1,0 | 3,0 | 17 |

Індекс розширення ($G, \text{см}^3$) відповідає кількості повітря, яка була використана для надування бульбашки з тіста та тісно залежить від площі середньої діаграми і сили борошна ($r=0,80-0,81$). Цей показник коливався від 8,3 од. у сорту Аристократ до 10,6 од. у сорту Любомир, та в середньому по сортах становив 9,1 од.

Площа середньої діаграми в середньому по сортах становила $11,6 \text{ см}^2$, та варіювала від $5,3 \text{ см}^2$ у сорту Аристократ до $17,7 \text{ см}^2$ у сорту Солодюк.

Показник W (сила борошна) — робота, витрачена на деформацію під час надування тіста в бульбашку та визначається за площею альвіограми ($r=0,95$), у середньому становив 55,7 Дж та відповідав за характеристикою «слабкій пшениці», та по сортах коливався від 27 Дж у сорту Аристократ до 93 Дж у сорту Солодюк.

За показником альвеографа «сила» борошна, було виділено сорти тритикале озимого поліського екотипу Солодюк та Любомир, які достовірно переважали над сортом стандартом Поліський 7 ($\text{НІР}_{05}=17$) й становили відповідно 93 Дж і 76 Дж.

Метод прямого визначення «сили» за допомогою альвеографа є доволі трудомістким і тривалим у часі та потребує наважку зразка зерна не менше одного кілограма, а перед помелом зерна потребує гідротермічної підготовки зразка та використання спеціального досить коштовного лабораторного млина. Тому в своїй роботі використано методику пробної випічки відмитої клейковини сортів тритикале з визначенням маси сухої клейковини та її гідратаційної здатності. Пробну випічку клейковини сортів тритикале наведено на *рис. 1*. З розмеленого зерна виділили на-

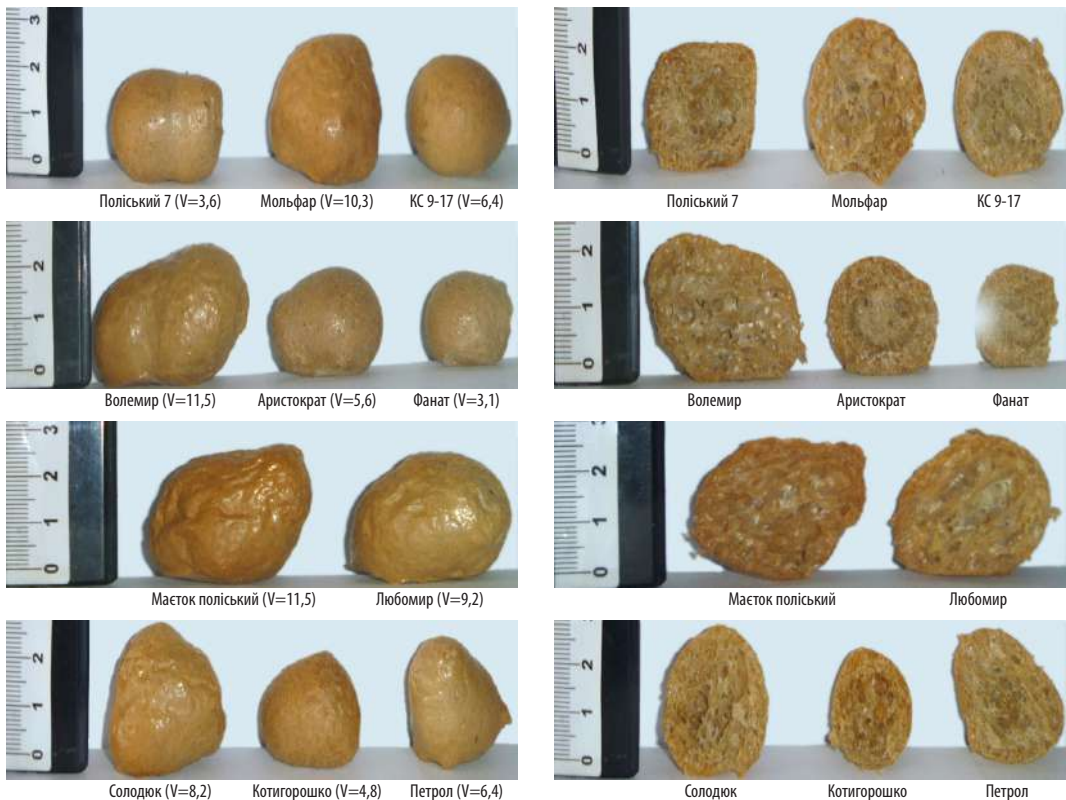


Рис. 1. Пробна випічка клейковини сортів тритикале озимого поліського екотипу

важку борошна 25 г, для того щоб забезпечити вихід сирої клейковини 4 г.

Найважливішим показником хлібопекарських властивостей борошна є клейковина, яка міститься в зерні в сухому стані, але за замісу тіста її частинки набухають, злипаються один з одним і після відмивання крохмалю утворюють цілісну масу – «сиру» клейковину, висушуючи відмиту клейковину отримують «суху». «Сира» клейковина містить 2/3 води і 1/3 сухої речовини, яка переважно складається з білка. Відмита клейковина *Triticosecale Wittmack* el. Саму була з гарною еластичністю сірого та світло-сірого кольору. Після випічки колір поверхні кульок клейковини змінювався від світло-коричневого до темно-коричневого, клейковина мала сильно виражений солодкуватий запах. Тобто в цій клейковині присутні моно- і дицукри, що мають забезпечити її високу газоутворювальну здатність.

Вологість сирої клейковини ($W_{\text{клейк}}$) відмитої зі шматочка тіста по сортах коливалась від 65,0 до 70,0% та в середньому становила 66,8% (табл. 2).

Виявлено слабкий кореляційний зв'язок між вологістю клейковини та вмістом крохмалю в зерні ($r=0,28$), розтяжністю ($r=0,29$), площею середньої діаграми

($r=0,26$) та «силою» борошна ($r=0,15$) (табл. 3).

Кількість «сирої» клейковини по сортах тритикале озимого коливалась від 6,4% у сорту Аристократ до 15,0% у зразка КС 9-17, та в середньому становила 11,8%. Після висушування кількість «сухої» клейковини варіювала від 2,38% до 5,04%, і в середньому становила 3,9%, та від кількості «сирої» клейковини сягало 33%. Встановлений прямий зв'язок між обома змінними ($r=0,98$), зі збільшенням кількості «сирої» клейковини, збільшується і кількість «сухої». За кількістю сухої клейковини можна одержати приблизну кількість вмісту білків. Як правило, вміст білків на 1–3% більше, ніж кількість «сухої» клейковини.

Виявлена позитивна кореляція між змінними кількістю «сирої» клейковини та вміст протеїну в зерні, клейковини та показник Зелені ($r=0,48-0,50$) означає, що змінні рухаються в одному напрямі, збільшення однієї змінної призводить до збільшення іншої. Від'ємна кореляція між двома змінними кількістю «сирої» клейковини та пружність ($r=-0,67$), відношення P/L ($r=-0,57$), площа середньої діаграми ($r=-0,32$) та сила борошна ($r=-0,33$) означає, що змінні рухаються в протилежних

Таблиця 2. Кількість сухої клейковини та її гідратаційна здатність залежно від сорту тритикале озимого поліського еко типу

| Сорт | $W_{\text{клейк}}, \%$ | $G_{\text{сир.кл.}}, \%$ | $G_{\text{сух.кл.}}, \%$ | $\Gamma, \%$ | $V_{\text{кульок}}, \text{см}^3$ |
|-------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------|----------------------------------|
| Поліський 7 | 65,0 | 14,0 | 5,04 | 185,7 | 3,6 |
| Мольфар | 65,0 | 11,6 | 4,06 | 185,7 | 10,3 |
| Петрол | 70,0 | 9,2 | 2,76 | 233,3 | 6,4 |
| Волемир | 67,5 | 13,6 | 4,42 | 207,7 | 11,5 |
| Котигорошко | 67,5 | 8,8 | 2,86 | 207,7 | 4,8 |
| Солодюк | 67,5 | 13,2 | 4,29 | 207,7 | 8,2 |
| Фанат | 67,5 | 10,4 | 3,38 | 207,7 | 3,1 |
| Аристократ | 65,0 | 6,4 | 2,38 | 185,7 | 5,6 |
| Маєток Поліський | 67,5 | 14,2 | 4,68 | 207,7 | 11,5 |
| Любомир | 67,5 | 14,2 | 4,55 | 207,7 | 9,2 |
| КС 9-17 | 65,0 | 15,0 | 4,90 | 185,7 | 6,4 |
| НІР ₀₅ | 2,0 | 3,0 | 1,00 | 14,0 | 3,0 |

Таблиця 3. Кореляційна залежність якісних показників тритикале озимого поліського екотипу

| Показники | Пружність (P), мм | Розтяжність (L), мм | P/L | Площа середньої діаграми (S), см ² | Сила борошна (W), Дж | W _{клейк.} , % | G _{сир.кл.} , % | G _{сух.кл.} , % | Г, % | V _{кульок} |
|---|-------------------|---------------------|-------|---|----------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|---------------------|
| Розтяжність (L), мм | 0,1 | | | | | | | | | |
| P/L | 0,8 | -0,5 | | | | | | | | |
| Площа середньої діаграми (S), см ² | 0,66 | 0,62 | 0,2 | | | | | | | |
| Сила борошна (W), Дж | 0,74 | 0,39 | 0,38 | 0,95 | | | | | | |
| W _{клейк.} , % | 0,04 | 0,29 | -0,18 | 0,23 | 0,15 | | | | | |
| G _{сир.кл.} , % | -0,67 | -0,06 | -0,57 | -0,32 | -0,33 | -0,12 | | | | |
| G _{сух.кл.} , % | -0,62 | -0,1 | -0,5 | -0,33 | -0,33 | -0,3 | 0,98 | | | |
| Г, % | 0,06 | 0,28 | -0,16 | 0,23 | 0,15 | 1,0 | -0,14 | -0,31 | | |
| V _{кульок} | -0,38 | -0,17 | -0,18 | -0,16 | -0,22 | 0,13 | 0,43 | 0,38 | 0,11 | |
| Вміст у зерні білка | -0,63 | -0,05 | -0,46 | -0,31 | -0,35 | -0,65 | 0,48 | 0,57 | -0,66 | 0,35 |
| Вміст у зерні крохмалю | -0,27 | -0,15 | -0,15 | 0,03 | 0,04 | 0,28 | 0,13 | 0,02 | 0,28 | 0,01 |
| Вміст у зерні клейковини | -0,61 | -0,07 | -0,07 | -0,3 | -0,33 | -0,65 | 0,48 | 0,58 | -0,66 | 0,34 |
| Показник Зелені | -0,48 | 0,07 | 0,07 | -0,16 | -0,23 | -0,65 | 0,5 | 0,58 | -0,65 | 0,21 |

напрямах, збільшення однієї змінної призводить до зменшення іншої.

Кореляційний аналіз тісноти зв'язку «сухої» клейковини виявив значну залежність між вмістом білка в зерні ($r=0,57$), клейковини ($r=0,58$) та показником Зелені ($r=0,58$).

Різниця між кількістю «сухої» та «сирої» клейковини визначає її гідратаційну здатність, а значить і якість. Гідратаційна здатність, що характеризує здатність клейковинних драглів поглинати воду при набуханні білкових речовин борошна, змінювалась від 185,7 до 233,3%. Найвищий показник (233,3%) спостерігався в сорту Петрол порівняно до сорту стандарту Поліський 7 достовірно перевищив його на 47,6 од. ($HP_{05}=14$).

Перевірка значущості кореляційного відношення гідратаційної здатності виявила слабку залежність із вмістом крохмалю в зерні ($r=0,28$), розтяжністю ($r=0,28$), пло-

щею середньої діаграми ($r=0,23$) та «силою» борошна ($r=0,15$). Чим більша гідратаційна здатність клейковини, тим вона менш пружна ($r=0,06$), більш розтяжна ($r=0,28$).

Об'єм висушених кульок клейковини в середньому становив 7,3 см³ та коливався від 3,1 см³ у сорту Фанат до 11,5 см³ у сортів Волемир і Мастоко Поліський. Оцінка за вибірковими даними коефіцієнтів кореляції між об'ємом кульок та іншими показниками виявила помірну залежність зі вмістом білка ($r=0,35$) й клейковини ($r=0,34$) у зерні, кількістю сухої клейковини ($r=0,38$); слабку залежність із показником Зелені ($r=0,21$) у зерні.

Специфіка тритикале полягає в якості клейковини, яка має безпосередній вплив на пластичні властивості тіста. Клейковина тритикале озимого поліського екотипу має слабку розтяжність і тугу пружність, що дає можливість спекти добрий хліб.

Прямим методом оцінки хлібопекарських властивостей є пробна лабораторна випічка хліба з оцінкою його якості за об'ємним виходом, формостійкістю, зовнішнім виглядом, станом м'якуша, шпаруватістю та іншим показником. Пробні випічки з борошна тритикале для визначення хлібопекарських властивостей у хлібопекарській лабораторії проведено безопарним методом з інтенсивним замісом тіста за пшеничною технологією, без поліпшувачів, через труднощі приготування і підтримування стабільної якості заквасок, на яких виготовляють хліб із тритикалевого борошна, що не дає змоги актуально оцінити якість випечених хлібців (рис. 2).

Якість хліба з тритикале оцінюють за тими самими показниками, що і якість пшеничного хліба, проте значення цих показників різко різняться. Для тритикалевого хліба характерний менший об'єм, менш виражена шпаруватість, більш липкий м'якуш.

Об'ємний вихід хлібців із тритикалевого борошна в середньому становив 298 мл та варіював від 260 мл у сорту Поліський 7 до 345 мл у сортів Фанат і Солодюк (табл. 4).

За органолептичною оцінкою хліба оцінювали зовнішній вигляд, правильність форми. Хлібці були плескатої (Мольфар, Петрол, Волемир), напівовальної (Полісь-

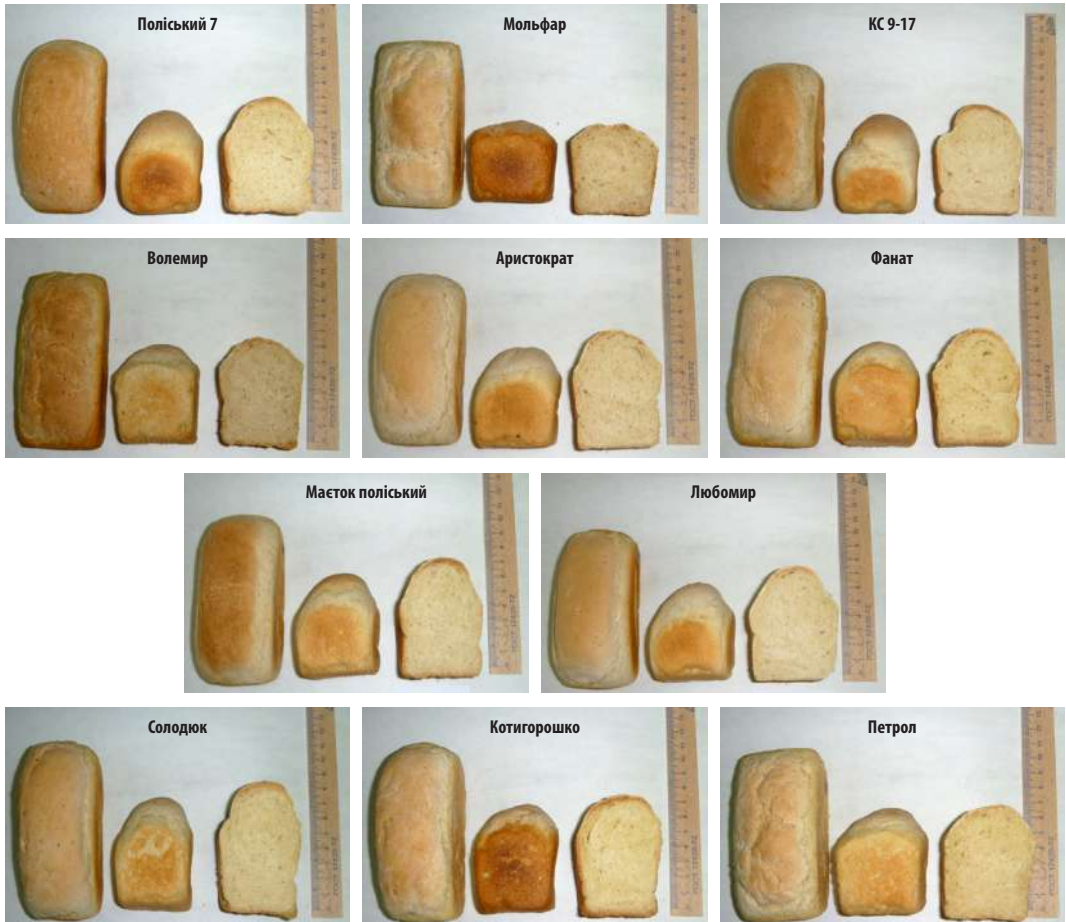


Рис. 2. Пробна випічка хліба сортів тритикале озимого поліського екотипу

Таблиця 4. Хлібопекарська оцінка основних ознак якості хліба сортів тритикале озимого польського екотипу

| Сорт | Об'ємний вихід хліба | | Форма | Поверхня | | Забарвлення шкоропки | Забарвлення | Шпаруватість | Еластичність | Смак | Загальна оцінка |
|------------------|----------------------|-----|---------------|--------------------|------------------|--------------------------------|---------------------|------------------------|---|-------------------|-----------------|
| | мл | бал | | зовнішній вигляд | м'якуш | | | | | | |
| Польський 7 | 260 | 0,1 | напів-овальна | рівна | світло-коричневе | світлий з сіруватим відтінком | дрібна нерівномірна | недостатньо еластичний | смачний, властивий хлібу з борошна тритикале | задовільна | 2,9 |
| Мольфар | 270 | 0,1 | плеската | шорстка, горбувата | те саме | те саме | те саме | недостатньо еластичний | те саме | задовільна | 2,8 |
| Петрол | 295 | 0,4 | плеската | те саме | те саме | світлий з сіруватим відтінком | дрібна рівномірна | еластичний | те саме | задовільна | 3,1 |
| Волемир | 300 | 0,5 | плеската | те саме | те саме | те саме | дрібна нерівномірна | недостатньо еластичний | те саме | задовільна | 2,8 |
| Фанат | 345 | 1,0 | овальна | рівна | те саме | світлий з жовтуватим відтінком | дрібна рівномірна | недостатньо еластичний | дуже смачний, властивий хлібу з борошна тритикале | досить задовільна | 3,4 |
| Солодюк | 345 | 1,0 | овальна | рівна | те саме | те саме | те саме | недостатньо еластичний | дуже смачний | те саме | 3,6 |
| Любомир | 285 | 0,3 | напів-овальна | рівна | жовто-золотаве | світлий з сіруватим відтінком | дрібна нерівномірна | недостатньо еластичний | смачний, властивий хлібу з борошна тритикале | задовільна | 2,8 |
| Котигорошко | 290 | 0,3 | напів-овальна | рівна | те саме | те саме | те саме | недостатньо еластичний | те саме | задовільна | 2,9 |
| Маєток польський | 310 | 0,6 | овальна | гладка, блискуча | світло-коричневе | те саме | те саме | недостатньо еластичний | те саме | задовільна | 3,1 |
| Аристократ | 265 | 0,1 | овальна | рівна | жовто-золотаве | світлий з жовтуватим відтінком | дрібна рівномірна | еластичний | те саме | досить задовільна | 3,3 |
| КС 9-17 | 315 | 0,6 | овальна | гладка, блискуча | світло-коричневе | те саме | те саме | еластичний | дуже смачний, властивий хлібу з борошна тритикале | досить задовільна | 3,6 |

кий 7, Любомир, Котигорошко) та овальної (Фанат, Солодюк, Маєток поліський, Аристократ, КС 9-17) форми, з рівною поверхнею та світло-коричневим забарвленням скоринки. М'якуш світло-сіруватого та світло-жовтуватого відтінку з рівномірною шпаруватістю та недостатньою еластичністю. За смаком хліб із тритикале озимого дуже смачний, солодкуватий. Загальна хлібопекарська оцінка хліба з тритикале озимого поліського екотипу задовільна.

ВИСНОВКИ

Використання борошна тритикале озимого поліського екотипу є актуальним з огляду на створення якісних харчових продуктів та раціонального використання в хлібопекарській промисловості. Тритикале озиме поліського екотипу хлібопекарського напрямку може бути широким джерелом харчування для населення.

Для визначення якості хліба недостатньо знати якісні показники борошна, вказані в нормативній документації на нього. Важливе значення мають показники, які характеризують його хлібопекарські властивості. «Сила» борошна, що визначає його хлібопекарські властивості (пружність, еластичність, пластичність, в'язкість) під час дозрівання, вистоювання тіста в про-

цесі випікання та спроможна забезпечити приготування з нього хліба певної якості, є основним фактором.

Головним показником «сили» борошна є кількість і фізичні властивості клейковини. Кількість «сирої» клейковини залежить від ступеня набухання білків борошна. Чим більша гідратаційна здатність клейковини, тим вона менш пружна, більш розтяжна.

Сформовані без поліпшувачів за пшеничною технологією з борошна тритикале озимого поліського екотипу тістові заготовки, під час вистоювання і випікання зберігають форму, не розпливаються, достатньо збільшуються в об'ємі. Результати пробних випічок виявили, що хліб із тритикале озимого поліського екотипу має невеликий об'єм, не зважаючи на добру газоутворювальну здатність борошна, правильну форму, м'якуш щільний недостатньо еластичний, приємного кольору та дуже смачний із солодкуватим присмаком.

Виділені сорти тритикале озимого поліського екотипу з задовільною хлібопекарською якістю, за пшеничною технологією випічки без додавання поліпшувачів, доцільно використовувати в хлібопекарській промисловості.

ЛІТЕРАТУРА

- Лілік Т. В., Бортновський В.М., Бугайова Н.А. Методи і результати селекції тритикале озимого фуражного типу використання. *Корми і кормовиробництво: міжвідомчий тематичний науковий збірник*. 2013. Вип. 77. С. 9–15.
- Селекція і насінництво в Україні: дефіцит коштів та науковці-ентузіасти. 2016. URL: <https://kurkul.com/blog/279-seleksiya-i-nasinnitstvo-v-ukrayini-defitsit-koshtiv-ta-naukovtsi-entuziasti>
- Під урожай 2018 року озимими зерновими засіяно 8,3 млн га площ. 2017. URL: <https://superagronom.com/news/2968-pid-urojay-2018-roku-ozimimi-zernovimi-zasiyano-83-mln-ga-plosch>
- Посівні площі сільськогосподарських культур за їх видами. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>
- Рибалка О.І., Моргун В.В., Моргун Б.В., Починок В.М. Агрономічний потенціал і перспективи тритикале. *Фізіологія рослин і генетика*. 2015. Т. 47. № 2. С. 95–111.
- Урубок С.А., Смирнов С.О. Исследование физико-механических свойств зерна тритикале и разработка технологического процесса его очистки перед помолом. *Хранение и переработка зерна*. 2014. № 11 (188). С. 60–63.
- ДСТУ 4690:2008. Борошно із зерна тритикале. Технічні умови. [Чинний від 2008–03–26]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 15 с.
- Федорова Т.О. Розроблення технології хліба з борошна тритикале: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01. Київ, 2004. 19 с.
- Білітюк А.П., Гірко В.С., Каленська С.М., Андрушків М.І. Тритикале в Україні / за ред. А. П. Білітюка. Київ, 2004. 376 с.
- Господаренко Г.М., Любич В.В. Хлібопекарські властивості зерна тритикале ярого за різних норм і строків внесення азотних добрив. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2010. № 1. С. 6–9.
- Кирильчук А.М. Оцінка генофонду тритикале озимого для створення сортів поліського екотипу. *Селекція і насінництво: міжвідомчий тематичний науковий збірник*. 2014. Вип. 106. С. 24–33.
- Кирильчук А.М. Вміст клейковини в зерні тритикале озимого (*Triticosecale Wittmack* el. Camus)

- для використання в хлібопекарській промисловості. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 4. С. 98–105. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2021.252962>
13. Рябчун В. К., Шатохин В.И., Панченко И.А. Хлебопекарное качество зерна новых линий яровых гексаплоидных тритикале. *Наукові основи стабілізації виробництва продукції рослинництва*: Міжнар. конф. Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва. Харків, 1999. С. 199–200.
 14. Погонєв Е.В. Технологические достоинства зерна тритикале продовольственного назначения и разработка направлений его использования: дис. ... канд. тех. наук: 05.18.01. Уфа, 2015. 158 с.
 15. Діордієва І.П. Створення та оцінка чотиривидових форм тритикале: дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.05. Умань, 2015. 211 с.
 16. Тертычная Т.Н. Теоретические и практические аспекты использования тритикале в производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий повышенной пищевой ценности: дис. ... д-ра с.-х. наук: 05.18.01. Москва, 2010. 466 с.
 17. Кондратенко Р.Г., Урбанчик Е.Н., Гутько А.Л. Мука тритикалевая кондитерская. *Хранение и переработка зерна*. 2003. № 7. С. 50–51.
 18. Харчові технології. Хлібопекарні властивості борошна. URL: <https://foodtechnology.pro/tehnologiya-virobnytstva-hliba/hlibopekarni-vlastivosti-boroshna>
 19. Осокіна Н.М., Костецька К.В. Порівняльна оцінка круп'яних властивостей зерна ярих пшениці, тритикале та ячменю. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2014. № 1. С. 79–83.
 20. ДСТУ 4762:2007. Тритикале. Технічні умови. [Чинний від 2007–08–01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2007. 14 с.
 21. Голодняк, В., Гурговий О. Жигунов Д. та ін. Зерно. Методи визначення кількості та якості клейковини в пшениці: ДСТУ. Київ: Мінекономрозвиток України, 2015. 27 с. URL: https://institut-zerna.com/methods-for-determining-the-quantity-and-quality-of-gluten-in-wheat_version2
 22. Торгачова К.Г., Гордієнко Л.В., Павловський С.М. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Загальні технології харчової промисловості». Одеса: ОНАХТ, 2011. 70 с.
 23. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Методи визначення показників якості продукції рослинництва. 2016. URL: <https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f41997447d.pdf>
 24. Про затвердження Інструкції з технології виробництва хлібопекарського сортового і обойного борошна із зерна тритикале та Інструкції щодо технології зберігання зерна у зернохосвищах із застосуванням полімерних зернових рукавів: наказ від 04.02.2011 р. № 10. Міністерство аграрної політики та продовольства України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0175-11#Text>
 25. Іжевська О.П. Дослідження впливу шроту насіння льону на перебіг мікробіологічних та біохімічних процесів у пшеничному тісті. *Хранение и переработка зерна*. 2017. № 2. С. 38–43.

REFERENCES

1. Lilyk, T.V., Bortnovskiy, V.M. & Buhaiova, N.M. (2013). Metody i rezultaty selektsii trytykale ozymoho furazhnoho typu vykorystannia [Methods and results of selection of triticale winter forage type of use]. *Kormy i kormozyrobnytstvo: mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk – Fodder and fodder production: interdepartmental thematic scientific collection*, 77, 9–15 [in Ukrainian].
2. Seleksiya i nasinnnytstvo v Ukraini: defitsyt koshtiv ta naukovtsi-entuziasty [Breeding and seed production in Ukraine: shortage of funds and enthusiastic scientists]. (2016). URL: <https://kurkul.com/blog/279-selektsiya-i-nasinnnytstvo-v-ukrayini-defitsyt-koshtiv-ta-naukovtsi-entuziasty> [in Ukrainian].
3. Pid urozhai 2018 roku ozymyму zernovomy zasiano 8,3 mln. ha plosch [For the 2018 harvest, 8.3 million hectares of land were sown with winter cereals]. (2017). URL: <https://superagronom.com/news/2968-pid-urojay-2018-roku-ozymimi-zernovimi-zasiyano-83-mln-ga-plosch> [in Ukrainian].
4. Posivni ploschchi silskohospodarskykh kultur za yikh vydamy [Sown areas of agricultural crops by their types]. (nd.). URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> [in Ukrainian].
5. Rybalka, O.I., Morhun, V.V., Morhun, B.V. & Pochynok, V.M. (2015). Ahronomichni potentsial i perspektyvy trytykale [Agronomic potential and prospects of triticale]. *Fiziologhiia roslin i henetyka – Physiology of plants and genetics*, 47, 2, 95–111 [in Ukrainian].
6. Urubkov, S.A. & Smirnov, S.O. (2014). Issledovanie fiziko-mehaniicheskikh svoystv zerna tritikale i razrabotka tehnologicheskogo processa ego ochistki pered pomolom [Study of the physical and mechanical properties of triticale grain and development of a technological process for its purification before grinding]. *Hranenie i pererabotka zerna – Storage and processing of grain*, 11 (188), 60–63 [in Russian].
7. Boroshno iz zerna trytykale. Tekhnichni umovy [Triticale flour. Specifications]. (2008). *DSTU 4690: 2008 from 26th March 2008*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].
8. Fedorova, T.O. (2004). Rozroblennia tekhnolohii khliba z boroshna trytykale [Development of bread technology from triticale flour]. *Abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences*. Kyiv [in Ukrainian].
9. Bilitiuk, A.P. (Ed.), Hirko, V.S., Kalenska, S.M. & Andrushkiv, M.I. (2004). *Trytykale v Ukraini [Triticale in Ukraine]*. Kyiv [in Ukrainian].
10. Hospodarenko, H.M. & Liubych, V.V. (2010). Khlibopekarski vlastyvoli zerna trytykale yarohto za riznykh norm i strokiv vnesennia azotnykh dobryv [Breadmaking properties of spring triticale grain un-

- der different norms and periods of nitrogen fertilizer application]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi aharnoi akademii – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 1, 6–9 [in Ukrainian].
11. Kyrylchuk, A.M. (2014). Otsinka henofondu trytykale ozymoho dlia stvorennia sortiv poliskoho ekotypu [Evaluation of the gene pool of winter triticale for the creation of varieties of the Polisky ecotype]. *Selektsiia i nasinnnytstvo: mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk – Breeding and seed production: interdepartmental thematic scientific collection*, 106, 24–33 [in Ukrainian].
 12. Kyrylchuk, A.M. (2021). Vmist kleikovyny v zerni trytykale ozymoho (*Triticosecale Wittmack* el. *Camus*) dlia vykorystannia v khlibopekarskii promyslovosti [Gluten content in winter triticale grains (*Triticosecale Wittmack* el. *Camus*) for use in the bakery industry]. *Ahroekolohichniy zhurnal – Agroecological journal*, 4, 98–105. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2021.252962> [in Ukrainian].
 13. Rjabchun, V.K., Shatohin, V.I. & Panchenko, I.A. (1999). Hlebopekarnoe kachestvo zerna novykh liniy jarovykh geksaploidnykh tritikale [Breadmaking quality of the grain of new spring hexaploid triticale]. *Naukovi osnovy stabilizatsiyi vyrobnytstva produktsiyi roslynnytstva: Mizhnarodna konferentsiia Instytutu roslynnytstva im. V.Ya. Yur'yeva [Scientific basis of plant production stabilization: International conference of the Institute of plant breeding named after V. Yuryev]*. (pp. 199–200). Harkiv [in Russian].
 14. Pogonec, E.V. (2015). Tehnologicheskie dostoinstva zerna tritikale prodovol'stvennogo naznachenija i razrabotka napravlenij ego ispol'zovanija [Technological advantages of triticale grain for food purposes and the development of directions for its use]. *Candidate's thesis*. Ufa [in Russian].
 15. Diordiieva, I.P. (2015). Stvorennia ta otsinka chotyryvydovykh form trytykale [Creation and evaluation of four-species forms of triticale]. *Candidate's thesis*. Uman [in Ukrainian].
 16. Tertychnaja, T.N. (2010). Teoreticheskie i prakticheskie aspekty ispol'zovanija tritikale v proizvodstve hlebobulochnykh i muchnykh konditerskikh izdelij povyshennoj pishhevoj cennosti [Theoretical and practical aspects of the use of triticale in the production of bakery and flour confectionery products of increased nutritional value]. *Doctor's thesis*. Moskva [in Russian].
 17. Kondratenko, R.G., Urbanchik, E.N. & Gut'ko, A.L. (2003). Muka tritikalevaja konditerskaja [Confectionery triticale flour]. *Hranenie i pererabotka zerna – Storage and processing of grain*, 7, 50–51 [in Russian].
 18. Kharchovi tekhnologii. Khlibopekarni vlastyvoli boroshna [Food technologies. Baking properties of flour]. (nd.). URL: <https://foodtechnology.pro/tehnologiya-virobnitstva-hliba/hlibopekarni-vlastyvoli-boroshna> [in Ukrainian].
 19. Osokina, N.M. & Kostetska, K.V. (2014). Porivnialna otsinka krupianykh vlastyvopei zerna yarykh pshenytsi, trytykale ta yachmeniu [Comparative assessment of cereal grain properties of spring wheat, triticale and barley]. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva – Bulletin of the Uman National University of Horticulture*, 1, 79–83 [in Ukrainian].
 20. Trytykale. Tekhnichni umovy [Triticale Specifications]. (2007). *DSTU 4762:2007 from 1st Juli 2007*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
 21. Holodnyak, V., Gurtovy, O., Zhigunov, D. et al. (2015). Zerno. Metody vyznachennia kilkosti ta yakosti kleikovyny v pshenytsi [Grain. Methods of determining the quantity and quality of gluten in wheat: DSTU]. Kyiv [in Ukrainian].
 22. Iorhachova, K.H., Hordiienko, L.V. & Pavlovskiy, S.M. (2011). *Metodychni vkazivky do vykonannia laboratornykh robiz z kursu «Zahalni tekhnologii kharchovoi promyslovosti» [Methodical instructions for performing laboratory work from the course «General technologies of the food industry»]*. Odesa [in Ukrainian].
 23. Metodyka provedennia kvalifikatsiinoi eksperytyzy sortiv roslyn na prydatnist do poshyrennia v Ukraini. Metody vyznachennia pokaznykiv yakosti produktsiyi roslynnytstva [Methodology for the qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. Methods of determining plant production quality indicators]. (2016). URL: <https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f41997447d.pdf> [in Ukrainian].
 24. Pro zatverdzhennia Instruksii z tekhnologii vyrobnytstva khlibopekarskoho sortovoho i oboinoho boroshna iz zerna trytykale ta Instruksii shchodo tekhnologii zberihannia zerna u zernoskhovyshchakh iz zastosuvanniam polimernykh zernovykh rukaviv: nakaz vid 04.02.2011 [On the approval of the Instruction on the technology of production of bakery grade and wallpaper flour from triticale grain and the Instruction on the technology of grain storage in granaries using polymer grain sleeves: order of 4.02. 2011]. *Ministerstvo ahraryoi polityky ta prodovol'stva Ukrayiny – Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine*, 10. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0175-11#Text> [in Ukrainian].
 25. Izhevska, O.P. (2017). Doslidzhennia vplyvu shrotu nasinnia lonu na perebih mikrobiolohichnykh ta biokhimichnykh protsesiv u pshenychnomu tisti [Study of the influence of flax seed meal on the course of microbiological and biochemical processes in wheat dough]. *Khranenye y pererabotka zerna – Grain storage and processing*, 2, 38–43 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 05.07.2022

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПРЕПАРАТУ БІОСИСТЕМ POWER, КС (BIOSISTEM POWER, SC) ДЛЯ ПРИСКОРЕННЯ ДЕСТРУКЦІЇ ПІСЛЯЖНИВНИХ РЕШТОК

А.А. Бунас, Є.Д. Ткач, В.В. Дворецький, О.М. Дворецька

Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: bio-206316@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4806-7004

e-mail: bio_eco@ukr.net; ORCID: 0000-0002-0666-1956

e-mail: dvchim@ukr.net; ORCID: 0000-0001-8427-7813

e-mail: phoenixbio@ukr.net; ORCID: 0000-0002-7301-8792

Одним з актуальних питань сьогодення для агровиробників залишається утилізація післяжнивних решток з агроєкосистем. Спалювання соломи та стерні вкрай ризикований та нищівний для біогеоценозу спосіб, оскільки під час горіння між соломою та ґрунтовим шаром за рахунок водного пару створюється умова, що температура горіння перевищує 600°C. В результаті таких дій гинуть мікроорганізми, черви, комахи, дрібні хребетні тварини та знищується родючий шар ґумусу. Вирішити питання післяжнивних решток допомагають сучасні біологічні препарати, які містять комплекс живих агрономічно-корисних мікроорганізмів. Прискорюючи деструкцію органічних мас у ґрунті вирівнюється співвідношення С:N, надходять органічні речовини в доступній для рослин формі, пригнічується розвиток фітопатогенів, затримується волога та активно йдуть процеси ґумусонакопичення. Проведено польові дослідження з визначення ефективності нового біопрепарату БіоСистем POWER КС (BioSistem POWER, SC), який містить активні бактеріальні штами родів *Raenabacillus*, *Azotobacter*, *Enterobacter* та мікроміцети роду *Trichoderma*. Відбір ґрунтових зразків проводили через 90 діб після оброблення, лабораторні дослідження проводили відповідно до загальноприйнятих мікробіологічних методик. Встановлено, що застосування біопрепарату БіоСистем POWER КС (BioSistem POWER, SC) порівняно з контролем сприяє підвищенню рівня емісії діоксиду вуглецю ґрунту дослідних варіантів у 2 рази, рівня целюлозолітичної активності на 23–34% залежно від норми використання, антифунгальної активності ґрунту у 2,5–3 рази. Отже, біопрепарат БіоСистем POWER КС (BioSistem POWER, SC) у нормі 0,3 та 5 л/га можна рекомендувати агровиробникам для використання в осінньо-весняний період для прискорення розкладання післяжнивних решток.

Ключові слова: стерня, післяжнивні рештки, целюлозоруйнівна активність, антифунгальна активність, інтенсивність емісії діоксиду вуглецю.

ВСТУП

В Україні потужний земельно-ресурсний потенціал. На початок 2021 р. сільськогосподарські угіддя становили 17,6 млн га, в т. ч. рілля — 14,83 млн га. [1]. За період 2020–2021 рр. для вирощування сільськогосподарських культур (пшениця, ячмінь, соя, кукурудза, соняшник, ріпак, буряк та ін. культури) використано понад 2,8 млн т мінеральних добрив та органічних — 11,4 млн т [2]. Відповідно до вище вказа-

них даних у середньому на 1 га ріллі вносили не більше 0,77 т/га органічних добрив. Однак для підтримання родючості ґрунтів у різних ґрунтово-кліматичних зонах країни необхідно вносити 8–15 т/га органічних добрив. Отже зрозуміло, що сільськогосподарські землі в Україні відчувають значний дефіцит внесених органічних добрив.

З іншого боку, існує проблема «утилізації» післяжнивних решток, бо агровиробники отримують у середньому з 1 га пшеничного поля 5 т соломи, кукурудзяного — приблизно 7,8 т. Хоча відомо, що

© А.А. Бунас, Є.Д. Ткач, В.В. Дворецький, О.М. Дворецька, 2022

1 т рослинної соломи (післяжнивних решток) еквівалентна 3–3,5 т тваринного гною. Окрім того, більшість наукових досліджень цієї проблеми вказують, що під час розкладання у ґрунті соломи можна отримати до 20% гумусу.

На 2022 р. у переліку пестицидів і агрохімікатів України [3] зареєстровано понад 15 різних препаратів, які володіють різним рівнем активності, але дають змогу прискорити розкладання органічного матеріалу в агроєкосистемах. Однак вчені мікробіологи-біотехнологи постійно знаходяться в пошуку активних продуцентів для створення біопрепаратів ще з більшим відсотком ефективності порівняно з вже відомими.

Метою дослідження було визначення ефективності застосування нового препарату БіоСистем POWER, КС (BioSistem POWER, SC), що містить активні бактеріальні штами родів *Paenabacillus*, *Azotobacter*, *Enterobacter* і мікроміцети роду *Trichoderma* для прискорення деструкції соломи та післяжнивних решток.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Відомо, що різноманіття та фізіолого-метаболична активність мікробіоценозу ґрунту визначають показники родючості, впливають на врожайність вирощуваних культур, беруть участь у колообігу вуглецю, азоту, фосфору, сірки, заліза, мікроелементів, ґрунтоутворювальних процесах, першими реагують на зміну погодних та вплив антропогенних чинників.

Біопрепарати створені на основі різних груп мікроорганізмів володіють комплексною і чітко спрямованою дією. Наприклад, азотофіксація та ріст стимуляція; фунгіцидна дія в поєднанні з рістстимуляцією та захистом рослин; підвищення імунного статусу рослин і захист; накопичення поживних речовин, фунгіцидна дія та деструкція речовин; азотофіксація з фосфатмобілізацією [4–8]. Найголовніше, що такі біопрепарати безпечні для людини, тварин, комах. Вченими Інституту сільськогосподарської мікробіології та агро-

промислового виробництва м. Чернігів [9] доведено, що застосування *Chaetomium globosum* 377 як деструктора пшеничної соломи сприяє зниженню у ризосфері рослин кукурудзи чисельності родів *Fusarium* Link. та *Bipolaris* Shoemaker. Отже, внесення в агроєкосистему *C. globosum* 377 дає можливість підвищити антагоністичний потенціал ризосферного ґрунту кукурудзи та захистити рослини від збудників захворювань. Іншими дослідженнями показано, що застосування мікробіологічних препаратів у поєднанні з системою удобрення NPK+гній+сидерат здатні збільшити баланс гумусу на 0,16 т/га за rotaцію сівозміни [10]. В екосистемах Казахстану виділено, унікальний штам прокариотичної бактерії *Streptomyces* sp. K-541, яка синтезує широкий спектр антибіотичних речовин, а рівень антимікробної активності коливається від 40–50 мм, залежно від фітопатогенного мікроміцету. Вчені вважають, що штам *Streptomyces* sp. K-541 перспективний для створення новітніх комплексних біопрепаратів [11]. Скринінг сірих ґрунтів дав можливість виділити штами *Azotobacter chlorococcum* S1 і *A. vinelandii* S2, які окрім азотофіксації володіють високим рівнем антифунгальної активності до фітопатогенів рослин томату, інколи з 100% рівнем пригнічення розвитку фітопатогену [12]. В періодичних виданнях з'явилась інформація, що за використання комплексних біопрепаратів для деструкції органічних решток спостерігається ефект мікробіологічного вирівнювання ґрунтових умов (МВГУ). Автори [13] дослідження наголошують, що мікробіологічні препарати створюють, а подекуди й індукують нові ефективні мікроорганізмові мережі, які дають можливість зберегти енергетичні ресурси та поживні речовини, розподіливши їх рівномірно в ґрунті.

Отже, з вище викладеного випливає, що деструкція органічного матеріалу за використання комплексних біопрепаратів сприяє накопиченню у ґрунті гумусних та поживних речовин, стабілізує колообіг азоту та вуглецю, відновлює енергетичні ланцюги в екосистемах та збільшує їх стій-

кість до впливу екзогенних чинників, покращує продуктивність і якість урожаю.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводились на Сквирській дослідній станції органічного виробництва Інституту агроєкології і природокористування НААН, м. Сквиря.

Ґрунти на дослідному полі Сквирської станції органічного виробництва – чорноземи глибокі малогумусні, середньосуглинкового складу на карбонатних породах та на лесі, рН (сол.) орного шару – 6,62.

Схема дослідження передбачала такі варіанти:

1. Контроль (оброблення стерні водопровідною водою);
2. БіоСистем POWER, КС (BioSistem POWER, SC) – 0,3 л/га;
3. БіоСистем POWER, КС (BioSistem POWER, SC) – 5,0 л/га.

Розмір ділянок – 4,2 × 5,8 м із систематичним розміщенням та трьохкратною повторюваністю. Для нанесення біопрепарату застосовували обприскувач Pilmet P2-1018. Робочий розчин біопрепарату з розрахунку 300 л/га готували з додаванням селітри аміачної у кількості 10 кг/га N₂. Оброблення препаратом стерні та органічних решток після збирання врожаю пшениці озимої проводили перед дискуванням. Глибина заробляння решток на глибину не більше 15 см. Відбір ґрунтових зразків для подальших лабораторних досліджень проводили через 90 діб після оброблення стерні та післяжнивних решток пшениці озимої.

Целюлозолітичну активність ґрунту визначали модифікованим методом Крістенсена за зменшенням маси фільтрувального паперу (целюлози) на ґрунтовій пластинці. Інтенсивність емісії діоксиду вуглецю з ґрунту визначали абсорбційним методом Штатнова за кількістю вуглекислого газу, який утворився у процесі «дихання» ґрунту і поглинання розчином NaOH [14]. Антифунгальну активність ґрунту визначали вимірюючи зону пригнічення росту тест-культури фітопатогенного гриба *Fusarium Link.*, методом паперових дисків [15]. Ста-

тистичне оброблення експериментальних даних виконано в програмі Statistica 6.0.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Ефективність застосування препарату БіоСистем POWER, КС (BioSistem POWER, SC) для прискорення деструкції стерні встановлювали за показниками біологічної активності ґрунту. А саме за інтенсивністю емісії діоксиду вуглецю, целюлозоруйнівною і антифунгальною активностями.

Одним з основних і загальноприйнятих показників біологічної активності ґрунту є «дихання», що зумовлюється комплексом чинників і відображає активність живого компоненту ґрунту. «Дихання» ґрунту або емісія діоксиду вуглецю – важливий біогеоценотичний процес, при якому в ґрунт із атмосфери потрапляє кисень і в результаті складного окислювального розпаду органічних речовин виділяється CO₂, котрий, своєю чергою, є важливим джерелом постачання вуглецю рослинам. Зіставлення кількості розкладеної органічної речовини і виділеної CO₂ свідчить про наявність прямої залежності між цими величинами.

Інтенсивність емісії діоксиду вуглецю (*рис. 1*) за застосування біологічного препарату БіоСистем POWER у досліджуваних дозах 0,3 та 5 л/га фіксували на рівні 49,8 і 69,6 мг CO₂/кг ґрунту, відповідно. Контрольний варіант характеризувався низьким рівнем «дихання» ґрунту, а саме 37,1 мг CO₂/кг ґрунту. Отже, внесення БіоСистем POWER, КС (BioSistem POWER, SC) на післяжнивні рештки сприяло підвищенню інтенсивності виділення вуглекислоти в 1,3–1,9 раза порівняно з контрольним варіантом.

Оцінити інтенсивність трансформації органічної речовини у ґрунті та виявити продуктивність ґрунтових мікроорганізмів у цьому процесі дає змогу целюлозолітична активність. Виявлено, що для контрольного варіанта целюлозолітичну активність фіксували на рівні 18% (*рис. 2*).

Такий показник свідчить про слабкий рівень інтенсивності розкладання целю-

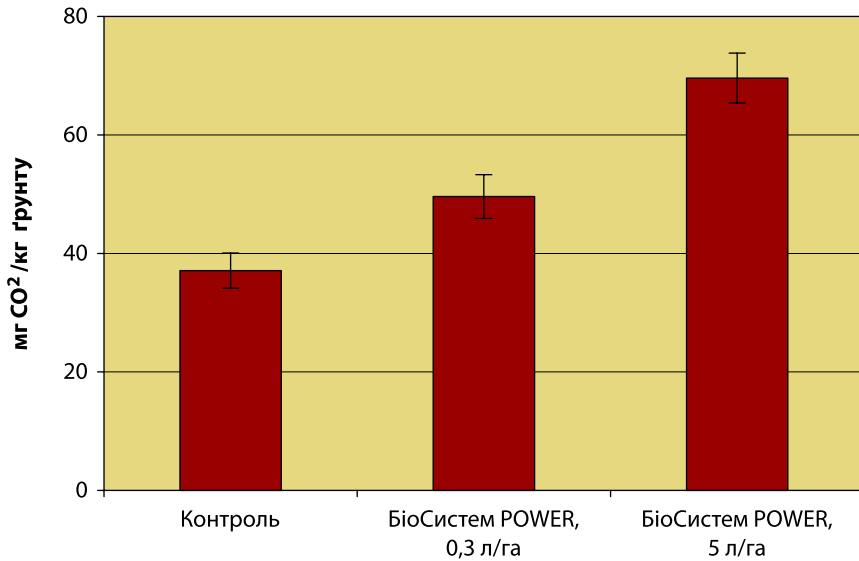


Рис. 1. Емісія діоксиду вуглецю з ґрунту за внесення БіоСистем POWER, КС (BioSistem POWER, SC)

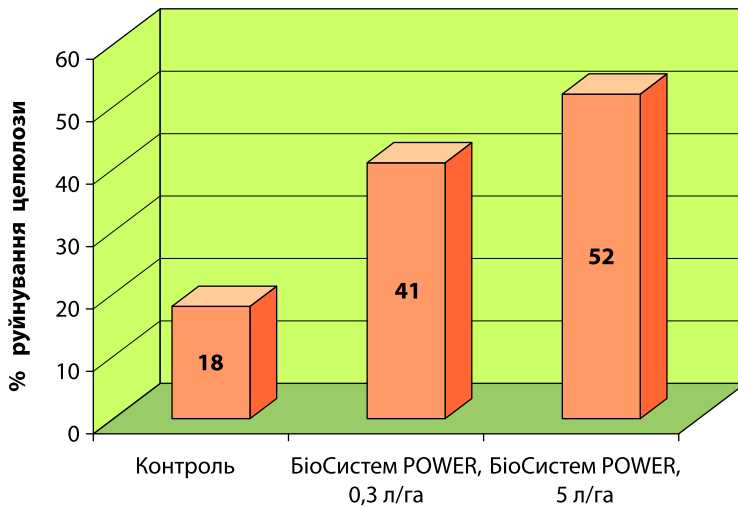


Рис. 2. Целюлозоруйнівна активність ґрунту за внесення БіоСистем POWER, КС (BioSistem POWER, SC)

лози згідно зі шкалою Звягинцева. Тобто у контрольному варіанті досліді склалися несприятливі умови для протікання процесів розкладання органічних решток. Процес

деструкції органічного матеріалу в екосистемах здійснюється численною кількістю мікроорганізмів. Провідна роль належить у цьому процесі міксоміцетам, у т. ч. і фіто-

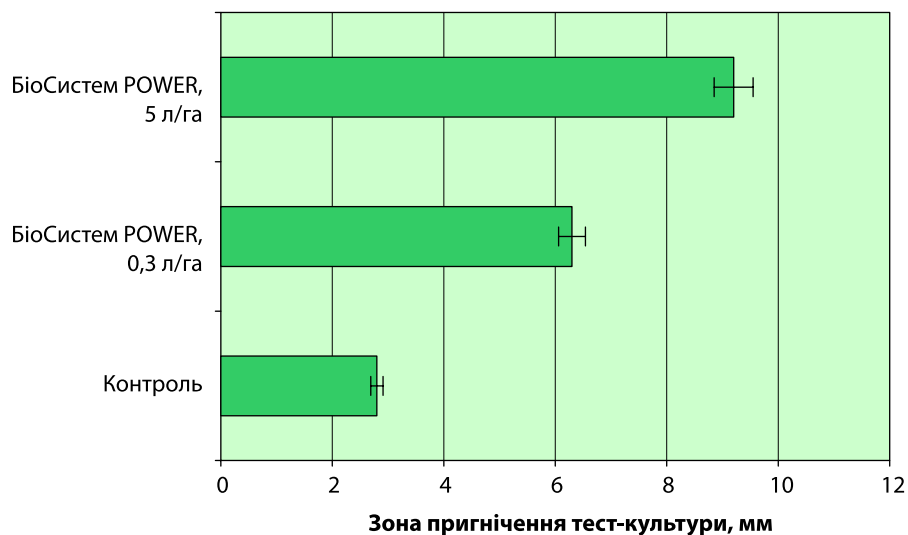


Рис. 3. Антифунгальна активність ґрунту за застосування препарату БіоСистем POWER, КС (BioSistem POWER, SC)

патогенним, які володіють ферментативними системами, що дають можливість розщеплювати целюлозні полімери. Останні накопичуються у рослинному матеріалі, який потрапляє у ґрунтовий покрив після вегетації культурних рослин. У результаті створюються оптимальні умови для існування, розмноження, перезимівлі та збереженню фітопатогенів до настання позитивних температур і початку нового вегетаційного періоду. Більшість препаратів, що в своїй основі містять мікроорганізми, володіють антагоністичними властивостями. Таким чином ріст біоагентів, дає змогу в агроценозах знизити ріст і розвиток фітопатогенів за рахунок підвищення фунгістатичного статусу ґрунту. Рівень фунгістатичного статусу ґрунту найкраще характеризує антифунгальна активність ґрунту. Застосування препарату БіоСистем POWER, КС (BioSistem POWER, SC) сприяло збільшенню антифунгальної активності ґрунту відносно контрольного варіанта у 2,3 раза за використання норми 0,3 л/га та в 3,3 раза за використання норми 5,0 л/га (рис. 3). Зона пригнічення розвитку тест-культури для досліджуваних варіантів

коливалася в межах 6,3–9,2 мм. Рівень антифунгальної активності контрольного варіанта не перевищував $2,8 \pm 0,1$ мм.

ВИСНОВКИ

Застосування препарату БіоСистем POWER, КС (BioSistem POWER, SC) для оброблення стерні та післяжнивних решток пшениці озимої сприяло зростанню загальної біологічної активності ґрунту. Виявлено, що рівень целюлозолітичної активності зростав від 23 до 34%, антифунгальна активність ґрунту збільшилася в 2,5–3 рази, порівняно з контролем. Встановлено, що рівень емісії діоксиду вуглецю ґрунту дослідних варіантів порівняно з контролем зростав в 2 рази, що вказує на достатньо високий рівень перебігу фізіолого-метаболических процесів у мікробіоценозі.

Отже, новий препарат БіоСистем POWER, КС (BioSistem POWER, SC), який містить комплекс агрономічно-корисних мікроорганізмів ефективний у якості деструктора післяжнивних решток. Отримані результати досліджень вказують на його перспективність для агровиробників.

ЛІТЕРАТУРА

1. Державний геокадастр України. URL: <https://land.gov.ua/index.php/monitorynh-zemelnkyh-vidnosyn/>
2. Національна доповідь України 2020 р. URL: <https://mepr.gov.ua/files/docs/Zvit/2022.pdf>
3. Перелік пестицидів і агрохімікатів України. URL: <https://mepr.gov.ua/content.html>
4. Sidorova S.G. The antifungal activity of ray fungus against the fusarium wilt causal agent of tomato. *Journal of the Belarusian State University. Biology*. 2019. № 3. P. 21–32. DOI: <https://doi.org/10.33581/2521-1722-2019-3-21-32>.
5. Smirnova I.E. and Sadanov A.K. Cellulolytic bacteria and association of effective microorganisms for biocontrol of root rot infections in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Agricultural Biology*. 2019. Vol. 54. № 5. P. 1041–1051. DOI: [10.15389/agrobiol.2019.5.1041eng](https://doi.org/10.15389/agrobiol.2019.5.1041eng)
6. Пищик В.Н., Бойцова Л.В., Воробьев Н.И. Влияние гуминовых веществ на растения и ризосферные микроорганизмы в растительно-микробных системах. *Агрохимия*. 2019. № 3. С. 85–95. DOI: [10.1134/S0002188119030116](https://doi.org/10.1134/S0002188119030116)
7. Демидов О.А., Дем'янюк О.С., Шерстобоева О.В. Біологічна активність чорнозему типового залежно від виду органічного субстрату органомінеральної системи удобрення. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2016. № 2 (56). С. 17–25.
8. Jaybhaye M.M. and Bhalerao S.A. Role of bioinoculants in the biodegradation of lingo-cellulosic waste (bagasse). *Asian Journal of Science and Technology*. 2016. № 4. P. 2830–2833.
9. Копилов Є.П., Скуловатов А.В. Мікоценоз кореневої зони рослин кукурудзи за використання *Chaetomium globosum* як деструктора соломи. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2017. Вип. 25. С. 31–35.
10. Потапенко Л.В., Скачок Л.М., Горбаченко Н.І. Вплив тривалого застосування добрив та мікробних препаратів на баланс гумусу в дерново-підзолистому ґрунті. *Актуальні питання сільськогосподарської мікробіології*. 2019. С. 151–154.
11. Треножникова Л.П., Балгимбаева А.С., Ултанбеклова Г.Д., Галимбаева Р.Ш. Антифунгальная активность против патогенов зерновых культур и изучение антибиотика штамма *Streptomyces* sp. K-541, выделенного из экспериментальных экосистем Казахстана. *Сельскохозяйственная микробиология*. 2018. Т. 53. № 1. С. 96–102. DOI: [10.15389/agrobiol.2018.1.96rus](https://doi.org/10.15389/agrobiol.2018.1.96rus)
12. Zakiryayeva S. Antifungal activity of the genus azotobacter against phytopathogenic fungi. *Universum: Химия и биология*. 2021. № 1 (79). С. 11–13.
13. Свиридова О.В., Воробьев Н.А., Проворов Н.А., Орлова О.В. Выравнивание почвенных условий для развития растений при деструкции растительных остатков микробными препаратами. *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51. № 5. С. 664–672. DOI: [10.15389/agrobiol.2016.5.664rus](https://doi.org/10.15389/agrobiol.2016.5.664rus)
14. Експериментальна ґрунтова мікробіологія: моногр. / за ред. В.В. Волкогон. Київ: Аграрна наука, 2010. 464 с.
15. Шерстобоева О.В., Чайковська В.В., Чабанюк Я.В., Іутинська Г.О., Антипчук А.Ф. Спосіб визначення антимікробної активності ґрунту: Патент 26942 Україна; від 10.10.2007.

REFERENCES

1. Derzhavnyj geokadastr Ukrainy [State Geocadastre of Ukraine]. (nd.). URL: <https://land.gov.ua/index.php/monitorynh-zemelnkyh-vidnosyn/> [in Ukrainian].
2. Nacionalna dopovid Ukrainy 2020 r. [National report of Ukraine 2020]. (2022). URL: <https://mepr.gov.ua/files/docs/Zvit/2022.pdf> [in Ukrainian].
3. Perelik pestydydiv i agrochimikativ Ukrainy [List of pesticides and agrochemicals of Ukraine]. (nd.). URL: <https://mepr.gov.ua/content.html> [in Ukrainian].
4. Sidorova, S.G. (2019). The antifungal activity of ray fungus against the fusarium wilt causal agent of tomato. *Journal of the Belarusian State University. Biology*, 3, 21–32. DOI: <https://doi.org/10.33581/2521-1722-2019-3-21-32> [in English].
5. Smirnova, I.E. & Sadanov, A.K. (2019). Cellulolytic bacteria and association of effective microorganisms for biocontrol of root rot infections in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Selskokhozyaistvennaya biologiya – Agricultural Biology*, 54, 5, 1041–1051. DOI: [10.15389/agrobiol.2019.5.1041eng](https://doi.org/10.15389/agrobiol.2019.5.1041eng) [in English].
6. Pishhik, V.N., Bojcov, L.V. & Vorobev, N.I. (2019). Vlijanie guminovykh veshhestv na rastenija i rizosfernye mikroorganizmy v rastitelno-mikrobnnykh sistemah [Influence of humic substances on plants and rhizospheric microorganisms in plant-microbial systems]. *Agrochemistry*, 3, 85–95. DOI: [10.1134/S0002188119030116](https://doi.org/10.1134/S0002188119030116) [in Russian].
7. Demydov, O.A., Demyanyuk, O.S. & Sherstoboyeva, O.V. (2016). Biologichna aktyvnist chornozemu typovogo zalezhozhno vid vydu organichnoho substratu organo-mineralnoyi systemy udobrennya [Biological activity of typical chernozem depending on the type of organic substrate of the organo-mineral fertilizer system]. *Visnyk Zhytomyrskogo nacionalnogo agroekologichnoho univertsytetu – Bulletin of the Zhytomyr National Agroecological University*, 2 (56), 17–25 [in Ukrainian].
8. Jaybhaye, M.M. & Bhalerao, S.A. (2016). Role of bioinoculants in the biodegradation of lingo-cellulosic waste (bagasse). *Asian Journal of Science and Technology*, 4, 2830–2833 [in English].
9. Kopylov, Ye.P. & Skulovatov, A.V. (2017). Mikocenozi korenevoyi zony roslin kukurudzy za vykoro-

- rystannya *Chaetomium globosum* yak destruktora solomy [Mycocenosis of the root zone of corn plants using *Chaetomium globosum* as a straw destroyer]. *Silskogospodarska mikrobiologiya – Agricultural Biology*, 25, 31–35 [in Ukrainian].
10. Potapenko, L.V., Skachok, L.M. & Gorbachenko, N.I. (2019). Vplyv tryvalogo zastosuvannya dobryv ta mikrobnymy preparativ na balans gumusu v dernovo-podzolistomu grunti [The effect of long-term use of fertilizers and microbial preparations on the balance of humus in sod-podzolic soil]. *Aktual'ni pytan-nya sil'skohospodars'koyi mikrobiolohiyi – Actual issues of agricultural microbiology*. P. 151–154 [in Ukrainian].
 11. Treozhnikova, L.P., Balgimbaeva, A.S., Ultanbek-lova, G.D. & Galimbaeva, R.Sh. (2018). Antifun-galnaja aktivnost protiv patogenov zernovyh kultur i izuchenie antibiotika shtamma *Streptomyces* sp. K-541, vydelenogo iz jeksperimentalnyh jekosistem Kazakstana [Antifungal activity against pathogens of grain crops and the study of antibiotic strain *Streptomyces* sp. K-541 isolated from the experimen-tal ecosystems of Kazakhstan]. *Selskhozjajstven-njaaja mikrobiologija – Agricultural Biology*, 53 (1), 96–102. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.96rus [in Russian].
 12. Zakiryaeva, S. (2021). Antifungal activity of the genus *azotobacter* against phytopathogenic fungi. *Universum: Chemical and Biology*, 1 (79), 11–13 [in English].
 13. Sviridova, O.V., Vorobev, N.A., Provorov, N.A. & Orlova, O.V. (2016). Vyravnivanie pochvennyh uslovij dlja razvitija rastenij pri destrukcii rastitel-nyh ostatkov mikrobnymi preparatami [Alignment of soil conditions for the development of plants during the destruction of plant residues by micro-bial preparations]. *Selskhozjajstvennaja biologija – Agricultural Biology*, 51 (5), 664–672. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.664rus [in Russian].
 14. Volkogon, V.V. (Ed.) (2010). *Eksperimental'na grun-tova mikrobiolohiya: monohrafiya [Experimental soil microbiology: monograph]*. Kyiv [in Ukrainian].
 15. Sherstoboyeva, O.V., Chajkovska, V.V., Chabanyuk, Ya.V., Iutynska, G.O. & Antypchuk, A.F. (2007). Sposib vyznachennya antimikrobnoyi aktyv-nosti gruntu: Patent 26942 Ukrayina [The method of determining the antimicrobial activity of the soil: Patent 26942 Ukraine]. *vid 10.10.2007* [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 30.07.2022

ВПЛИВ БІОПРЕПАРАТУ ФІЛАЗОНІТ НА РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТУ ТА ВРОЖАЙНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

М.В. Гунчак¹, В.І. Собко², С.А. Романова³, О.М. Грищенко³

¹ Чернівецька філія ДУ «Держґрунтохорона» (м. Чернівці, Україна)
e-mail: chernivtsy_grunt@ukr.net; ORCID: 0000-0002-3521-8531

² Хмельницька філія ДУ «Держґрунтохорона» (м. Кам'янець-Подільський, Україна)
e-mail: obl-rod@ukr.net; ORCID: 0000-0002-8230-2904

³ Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України» (м. Київ, Україна)
e-mail: svkiev07@ukr.net; ORCID: 0000-0002-3051-1077
e-mail: grischenkoel@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1241-7183

Досліджено вплив біодеструктора стерні Філазоніт СВ та інокулянту ґрунту Філазоніт ТО, куди входять штами бактерій *Bacillus circulans*, *Pseudomonas putida*, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium* на урожайність сільськогосподарських культур та зміну основних показників ґрунту. Встановлено, що внесення восени перед оранкою Філазоніту СВ у нормі 10 л/га та навесні Філазоніту ТО у нормі 15 л/га дало змогу підвищити урожайність гороху в середньому на 22,8%, сої на 21,9%, картоплі на 11,2%, кукурудзи на 19,4%. Крім того, встановлено, що за застосування цієї технології у 2017–2019 рр. зросли показники вмісту гумусу у ґрунті на 0,03–0,08%, легкогідролізованого азоту на 1,0–7,0 мг/кг, рухомих форм фосфору на 2,0–6,0 мг/кг та рухомих форм калію на 3,0–13,0 мг/кг ґрунту. За застосування ґрунтоцентричної технології, яка крім внесення Філазоніту СВ та Філазоніту ТО, включала застосування мінеральних добрив, урожайність гороху зростає в середньому на 30,1%, сої — на 36,8, картоплі — на 22,9, кукурудзи — на 35,8%. Під час використання ґрунтоцентричної технології встановлено зростання показників вмісту гумусу у ґрунті на 0,05–0,1%, легкогідролізованого азоту на 5,0–15,0 мг/кг, рухомих форм фосфору на 8,0–19,0 мг/кг та рухомих форм калію на 6,0–18,0 мг/кг ґрунту. За оцінювання економічних показників ефективності застосування досліджуваних технологій підвищення родючості ґрунту встановлено, що за вирощування гороху отримали умовно-чистий дохід у межах 315,7–522,2 грн/га, за вирощування сої — 585,0–764,4, за вирощування картоплі — 4516,0–6284,0, за вирощування кукурудзи — 1324,0–2014,0 грн/га. Рівень рентабельності застосованих технологій у дослідженнях на горосі становив 9,8–12,6%, на сої — 13,7–18,3, на картоплі — 56,1–111,8, на кукурудзі — 31,2–40,5%.

Ключові слова: інокулянти ґрунту, деструктори, горох, соя, картопля, кукурудза.

ВСТУП

У сучасних умовах інтенсифікації сільськогосподарства погіршується стан ґрунтів, зменшується вміст гумусу, макро- та мікроелементів. Суцільне розорення земель, істотне зменшення внесення органічних добрив, незбалансоване внесення мінеральних добрив призвели до зниження родючості ґрунтів. Основою відтворення родючості ґрунтів є забезпечення в них бездефіцитного балансу гумусу й елементів живлення, що дає можливість підтримувати певний рівень їх потенційної та

ефективної родючості. Адже збереження й відтворення родючості ґрунту є одним із найважливіших завдань у системі землеробства [1; 2].

Одним із способів сприяння відновленню родючості ґрунту в сучасних умовах є застосування корисних ґрунтових мікроорганізмів. Їх застосування відновлює природні процеси в ґрунті та його структуру, засвоєння мінеральних добрив, збільшує кількість та доступність поживних речовин, розкладає рослинні рештки, сприяє утворенню гумусу. Разом із тим покращується температурний, повітряний та водний режим ґрунту, значно поліпшуються

його фізичні та хімічні показники, а також біологічна продуктивність. У результаті цього підвищується родючість ґрунту. Тому, метою досліджень було вивчити вплив ґрунтових бактерій, що містяться у препаратах Філазоніт СВ та Філазоніт ТО на покращання родючості ґрунту, а у підсумку й на збільшення врожайності сільськогосподарських культур. Було досліджено можливість застосування цих препаратів у технологіях підвищення родючості ґрунту, а також особливості їх застосування разом із внесенням мінеральних добрив.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Гадзало Я.М. та ін. [3] зазначають, що особливою актуальності в сучасних умовах набуває проблема втрати родючості ґрунтів, яку, з одного боку, зумовлено високим рівнем розораності територій та інтенсивним використанням у сільському господарстві еродованих та малопродуктивних земель, а з іншого — низькою культурою землеробства. На актуальності проблем збереження та відтворення родючості ґрунту наголошують Семенчук І.М., Шкрьобка М.І. [1], Літвінова В.В. та ін. [4].

Ходаківська О.В. та Корчинська С.Г. [5] зазначають, що нині зберігаються тенденції з дегуміфікації ґрунтового покриву, спостерігається наростаючий дефіцит основних елементів живлення, підвищення кислотності ґрунтів, забруднення земель радіонуклідами, важкими металами, пестицидами, відбувається активізація ерозійних процесів. До основних причин зменшення вмісту гумусу автори відносять надмірну його мінералізацію за вирощування інтенсивних сільськогосподарських культур, недотримання науково обґрунтованих сівозмін і розвиток ерозійних процесів. Однак, на думку авторів, одним із визначальних чинників його зниження є скорочення обсягів внесення органічних та мінеральних добрив.

У працях Яцука І.П. та Панасенко В.М. [2] вказано, що впродовж останніх двох десятиріч років спостерігається зниження родючості ґрунтів, зокрема і зменшення

вмісту гумусу. За вказаний період його втрачено від 0,4 до 0,8 т з 1 га. При цьому, за даними науковців, для утворення 1 см родючого шару ґрунту в природних умовах необхідно 100 років. Також Яцуком І.П. та ін. [6] запропоновано заходи з відтворення родючості ґрунтів, основною умовою яких є перехід на бездефіцитний баланс гумусу.

Грищенко О.М. та ін. [7] наголошують, що ігнорування наукових підходів, відсутність стимулювальних програм на державному рівні, а переважно просто споживацьке ставлення до землі, спричиняє виснаження ґрунтів, зниження їх потенційної родючості та деградацію.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження з вивчення ефективності технологій підвищення родючості ґрунту, зокрема застосування препаратів Філазоніт СВ та Філазоніт ТО та їх використання у ґрунтоцентричній технології, проводили у 2017–2019 рр. на полях Української науково-дослідної станції карантину рослин Інституту захисту рослин Національної академії аграрних наук України (с. Бояни Новоселицького р-ну Чернівецької обл.) на гороху, сої, картоплі та кукурудзі за загальноприйнятими методиками [8; 9]. Статистичну обробку результатів проводили за методом дисперсійного аналізу за Б.А. Доспеховим [10].

Досліди здійснювали на ділянках площею 0,1 га, по 3 ділянки на кожен культур, зокрема контроль; ділянка, де застосовувалися Філазоніт СВ та Філазоніт ТО й ділянка, де застосовувалась ґрунтоцентрична технологія.

Перша технологія підвищення родючості ґрунту базувалася на застосуванні біодеструктора стерні Філазоніт СВ та іноккулянту ґрунту Філазоніт ТО. Біодеструктор стерні Філазоніт СВ (бактерії штамів *Bacillus circulans*, *Pseudomonas putida*, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium*, титр життєздатних клітин не менше $4 \cdot 10^8$ КУО/см³) вносили у ґрунт у нормі 10 л/га восени в третій декаді листопада

перед зяблевою оранкою ґрунту на глибину 25 см. Інокулянт ґрунту Філазоніт ТО (бактерії штамів *Bacillus circulans*, *Pseudomonas putida*, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium*, титр життєздатних клітин не менше $4 \cdot 10^9$ КУО/см³) вносили у ґрунт навесні у третій декаді квітня у нормі 15 л/га з подальшою заробкою його у ґрунт.

Наступна технологія підвищення родючості ґрунту, ґрунтоцентрична технологія, полягає у розрахунку внесення добрив на запланований урожай та базувалася на застосуванні препаратів Філазоніт СВ та Філазоніт ТО разом із внесенням мінеральних добрив. Застосування мінеральних добрив було різним для кожної культури у науково обґрунтованих нормах. За вирощування гороху навесні, у третій декаді квітня, вносили аміачну селітру у нормі 100 кг/га, далі вносили інокулянт ґрунту Філазоніт ТО та заробляли його у ґрунт. При вирощуванні сої після внесення Філазоніту СВ, у третій декаді листопада, у ґрунт вносили карбамід (N-46) у нормі 150 кг/га, після чого здійснювали зяблеву оранку ґрунту на глибину 25 см. Навесні вносили аміачну селітру (100 кг/га). При вирощуванні картоплі восени у ґрунт внесли карбамід (N-46) (250 кг/га) та хлористий калій (K-60) (400 кг/га), а навесні — аміачну селітру (100 кг/га). На дослідних ділянках, де мала вирощуватись кукурудза восени вносили карбамід (N-46) (200 кг/га) та хлористий калій (K-60) (150 кг/га), а навесні — аміачну селітру (150 кг/га).

Горох вирощували сорту Джоф. Сівба відбувалася наприкінці третьої декади квітня. Сою сорту Ксенія сіяли у кінці першої декади травня. Картоплю сорту Слов'янка садили у другій декаді травня. Кукурудзу гібриду Кремінь сіяли в середині другої декади травня.

Аналіз економічних показників застосованих заходів у 2017–2019 рр. проводився за загальноприйнятими методиками згідно з такими показниками:

- вартість технології, грн/га;
- вартість затрат, які пов'язані з її застосуванням; урожайність, т/га;
- ціна реалізації 1 т врожаю, грн;

- додатковий врожай, т/га;
- вартість додаткового врожаю, грн/га;
- вартість затрат, пов'язаних із додатковим врожаєм, грн/га;
- умовно-чистий дохід від застосованих заходів, грн/га та рентабельність застосованих заходів, %.

Також розраховувався поріг окупності застосованих заходів, т/га.

Умовно-чистий дохід від застосованих заходів покращання родючості ґрунту розраховували за формулою [11]:

$$ЧД = Vд - Eдв, \quad (1)$$

де ЧД — умовно-чистий дохід, грн/га; $Vд$ — вартість додаткового врожаю, грн/га; $Eд$ — затрати, пов'язані з одержанням додаткового врожаю, грн/га.

Вартість затрат, що пов'язані з одержанням додаткового врожаю визначали як суму затрат на препарати і добрива, витрат на їх застосування та витрат на збирання, транспортування та зберігання додаткового врожаю [11]:

$$Eд = Eм + Eв + Eзд, \quad (2)$$

де $Eм$ — затрати на придбання препаратів та добрив; $Eв$ — затрати на внесення препаратів та добрив; $Eзд$ — затрати на збирання, транспортування та зберігання додаткового врожаю.

Норму рентабельності застосованих заходів визначали як процентне співвідношення умовно-чистого доходу до затрат, пов'язаних з одержанням додаткового врожаю [11]:

$$P = (ЧД/Eд) \cdot 100\%. \quad (3)$$

Поріг окупності розраховували за формулою [12]:

$$П = (Eм + Eв) / Ц, \quad (4)$$

де Ц — ціна врожаю, грн/т.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Дослідженнями встановлено, що за застосування технологій підвищення родючості ґрунту відбувалося зростання урожайності на всіх досліджуваних культурах,

а також встановлено зростання показників вмісту гумусу, легкогідролізованого азоту, рухомих форм фосфору та калію у ґрунті.

За вирощування гороху, за застосування Філазоніту СВ як біодеструктора стерні у нормі 10 л/га та Філазоніту ТО в якості інокуляту ґрунту (15 л/га), врожайність гороху підвищилася в середньому за роки досліджень на 4,7 ц/га, або на 22,8% (табл. 1), що свідчить про те, що застосування цієї технології дало можливість більше розкрити генетичний потенціал культури.

Крім того, при використанні даної технології спостерігали збільшення вмісту легкогідролізованого азоту у ґрунті в середньому на 7,0 мг/кг ґрунту (табл. 2); рухомих форм фосфору — на 2,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм калію — на 7,0 мг/кг, а вмісту гумусу — на 0,03% порівняно з показниками аналізу ґрунту до проведення дослідів, що пов'язано з покращанням фізичного та хімічного стану ґрунту.

За застосування ґрунтоцентричної технології, яка полягає у розрахунку внесення добрив на запланований урожай, а саме внесенні аміачної селітри у нормі 100 кг/га, Філазоніту СВ (10 л/га) та Філазоніту ТО (15 л/га), врожайність гороху підвищилася на 6,2 ц/га, або на 30,1%, що зумовлено як покращанням засвоєння рослинами поживних речовин та внесенням мінеральних добрив.

За використання цієї технології проглядалося збільшення вмісту легкогідролізованого азоту у ґрунті в середньому на

15,0 мг/кг; рухомих форм фосфору — на 9,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм калію — на 15,0 мг/кг ґрунту, а вмісту гумусу — на 0,05% порівняно з показниками аналізу ґрунту до проведення дослідів.

На контрольній ділянці, де не застосовувались заходи з підвищення родючості ґрунту, спостерігалось зменшення вмісту легкогідролізованого азоту у ґрунті в середньому на 6,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм фосфору — на 7,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм калію — на 8,0 мг/кг ґрунту, а вмісту гумусу — на 0,05% порівняно з показниками аналізу ґрунту до проведення дослідів.

Дослідження на сої показали, що за застосування Філазоніту СВ та Філазоніту ТО врожайність сої підвищилася в середньому за роки досліджень на 5,0 ц/га, або на 21,9%. При використанні цієї технології збільшився вміст легкогідролізованого азоту у ґрунті в середньому на 1,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм фосфору — на 3,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм калію — на 13,0 мг/кг ґрунту, а вмісту гумусу — на 0,05% порівняно з показниками аналізу ґрунту до проведення досліджень, що свідчить про покращання стану ґрунтових ресурсів внаслідок застосування цих препаратів.

За застосування ґрунтоцентричної технології, яка полягає у розрахунку добрив на запланований урожай, а саме, внесенні карбаміду у нормі 150 кг/га, аміачної селітри (100 кг/га), Філазоніту СВ (10 л/га) та Філазоніту ТО (15 л/га), врожайність сої підвищилася на 8,4 ц/га, або на 36,8%. За

Таблиця 1. Урожайність сільськогосподарських культур при застосуванні технологій підвищення родючості ґрунту, УкрНДСКР ІЗР НААН, с. Бояни Новоселицького р-ну Чернівецької обл., 2017–2019 рр. (середнє за роки досліджень)

| Культура, ц/га | Контроль (без внесення Філазоніту) | З внесенням Філазоніту СВ і Філазоніту ТО | Ґрунтоцентрична технологія |
|----------------|------------------------------------|---|----------------------------|
| Горох | 20,6 | 25,3 | 26,8 |
| Соя | 22,8 | 27,8 | 31,2 |
| Картопля | 205,0 | 228,0 | 252,0 |
| Кукурудза | 52,0 | 62,1 | 70,6 |

Таблиця 2. Аналіз основних показників ґрунту при застосуванні технологій підвищення родючості ґрунту, УкрНДСКР ІЗР НААН, с. Бояни Новоселицького р-ну Чернівецької обл., 2017–2019 рр. (середнє за роки досліджень)

| Технологія | Початковий аналіз ґрунту | | | | | Аналіз ґрунту після збору врожаю | | | | |
|---|--------------------------|-----|-----|-------------------|----------|----------------------------------|-----|-----|-------------------|----------|
| | N | P | K | Ph _{сол} | гумус, % | N | P | K | Ph _{сол} | гумус, % |
| | мг/кг | | | | | мг/кг | | | | |
| Горox | | | | | | | | | | |
| Контроль (без внесення Філазоніту) | | | | | | 75 | 192 | 226 | 6,05 | 2,65 |
| З внесенням Філазоніту СВ і Філазоніту ТО | 81 | 199 | 234 | 6,21 | 2,70 | 88 | 201 | 241 | 6,21 | 2,73 |
| Ґрунтоцентрична технологія | | | | | | 96 | 208 | 249 | 6,30 | 2,75 |
| Соя | | | | | | | | | | |
| Контроль (без внесення Філазоніту) | | | | | | 61 | 263 | 275 | 6,39 | 2,50 |
| З внесенням Філазоніту СВ і Філазоніту ТО | 69 | 272 | 283 | 6,84 | 2,56 | 70 | 275 | 296 | 6,80 | 2,61 |
| Ґрунтоцентрична технологія | | | | | | 76 | 291 | 301 | 6,90 | 2,65 |
| Картопля | | | | | | | | | | |
| Контроль (без внесення Філазоніту) | | | | | | 70 | 238 | 174 | 5,06 | 2,55 |
| З внесенням Філазоніту СВ і Філазоніту ТО | 85 | 255 | 210 | 5,08 | 2,61 | 88 | 261 | 214 | 5,28 | 2,69 |
| Ґрунтоцентрична технологія | | | | | | 90 | 263 | 216 | 5,30 | 2,71 |
| Кукурудза | | | | | | | | | | |
| Контроль (без внесення Філазоніту) | | | | | | 82 | 248 | 249 | 6,20 | 2,35 |
| З внесенням Філазоніту СВ і Філазоніту ТО | 91 | 261 | 292 | 6,30 | 2,45 | 97 | 263 | 295 | 6,40 | 2,50 |
| Ґрунтоцентрична технологія | | | | | | 98 | 271 | 298 | 6,50 | 2,52 |

використання цієї технології спостерігали збільшення вмісту легкогідролізованого азоту у ґрунті в середньому на 10,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм фосфору – на 19,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм калію – на 18,0 мг/кг ґрунту, а вмісту гумусу – на 0,09% порівняно з показниками аналізу ґрунту до проведення дослідів.

У контролі відбулося зменшення вмісту легкогідролізованого азоту у ґрунті в середньому на 8,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм фосфору – на 9,0 мг/кг ґрунту; ру-

хомих форм калію – на 8,0 мг/кг ґрунту, а вмісту гумусу – на 0,06% порівняно з показниками аналізу ґрунту до проведення дослідів.

У контролі висота рослин сої досягала в середньому 82,5 см. Середня кількість стебел на рослині в середньому сягала 3,5 шт. Кількість сформованих бобів на рослині – 73 шт. Маса 100 насінин – 13,9 г. У досліді з внесенням Філазоніту СВ та Філазоніту ТО збільшилася висота рослин сої на 6% порівняно з контролем, середня кількість

стебел на рослині зроста на 11,4%, кількість сформованих бобів на рослині зроста на 9,6%, а маса 100 насінин зроста на 4,3%. Зростання цих показників зумовлено тим, що бактерії, які містяться у складі препарату покращили хімічний і фізичний стан ґрунту та прискорили засвоєння рослинами поживних речовин. За застосування ґрунтоцентричної технології висота рослин сої збільшилася на 8,6% порівняно з контролем, середня кількість стебел на рослині зроста на 25,7%, кількість сформованих бобів на рослині збільшилася на 17,8%, а маса 100 насінин — на 9,4%. Зростання цих показників порівняно з контролем, а також порівняно з дослідом із внесенням Філазоніту СВ та Філазоніту ТО зумовлено тим, що крім покращення хімічного і фізичного стану ґрунту, позитивний ефект отримали від внесення мінеральних добрив.

За застосування на картоплі Філазоніту СВ та Філазоніту ТО врожайність підвищилася в середньому за роки досліджень на 23,0 ц/га, або на 11,2%. Варто зазначити, що за використання цієї технології збільшився вміст легкогідролізованого азоту у ґрунті в середньому на 3,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм фосфору — на 6,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм калію — на 4,0 мг/кг ґрунту, а вмісту гумусу — на 0,08% порівняно з показниками аналізу ґрунту до проведення дослідів, що свідчить про позитивний вплив від застосування цих препаратів на стан ґрунту за вирощування картоплі.

Застосування ґрунтоцентричної технології, яка полягає у внесенні хлористого калію у нормі 400 кг/га, карбаміду (250 кг/га), аміачної селітри (100 кг/га), Філазоніту СВ (10 л/га) та Філазоніту ТО (15 л/га), дало змогу підвищити врожайність картоплі на 47,0 ц/га, або на 22,9%. За використання цієї технології спостерігали збільшення вмісту легкогідролізованого азоту у ґрунті в середньому на 5,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм фосфору — на 8,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм калію — на 6,0 мг/кг ґрунту, а вмісту гумусу — на 0,1% порівняно з показниками аналізу ґрунту до проведення дослідів, тобто застосування цієї технології було ефектив-

нішим за застосування Філазоніту СВ та Філазоніту ТО.

У контролі вміст легкогідролізованого азоту у ґрунті зменшився в середньому на 15,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм фосфору — на 17,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм калію — на 36,0 мг/кг ґрунту, а вмісту гумусу — на 0,06% порівняно з показниками аналізу ґрунту до проведення дослідів.

У контролі висота рослин картоплі у середньому була на рівні 33,4 см. Середня кількість стебел становила 2,7 шт. Вага бульб — 440 г/рослину, вага однієї бульби — 72 г. Висота рослин картоплі за застосування Філазоніту СВ та Філазоніту ТО була на 18,5% вище, ніж у контролі, середня кількість стебел — на 29,6% більше контролю, вага бульб — на 11,4% більше аналогічного показника у контролі, вага однієї бульби — на 9,7% більше контролю, що зумовлено збільшенням періоду вегетації картоплі, а також покращенням засвоєння поживних речовин з ґрунту. За застосування ґрунтоцентричної технології спостерігали збільшення висоти рослин картоплі на 35,3% відносно контролю, середня кількість стебел зроста на 59,3%, вага бульб — на 27%, вага однієї бульби — на 18% більше контролю.

Дослідження на кукурудзі показали, що за застосування Філазоніту СВ та Філазоніту ТО врожайність підвищилася на 10,1 ц/га, або на 19,4%. При використанні цієї технології вміст легкогідролізованого азоту у ґрунті збільшився в середньому на 6,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм фосфору — на 2,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм калію — на 3,0 мг/кг ґрунту, а вмісту гумусу — на 0,05% порівняно з показниками аналізу ґрунту до проведення дослідів.

За застосування ґрунтоцентричної технології, яка полягає у внесенні хлористого калію у нормі 150 кг/га, карбаміду (200 кг/га), аміачної селітри (150 кг/га) та Філазоніту (15 л/га), врожайність кукурудзи підвищилася на 18,6 ц/га, або на 35,8%. За використання цієї технології відбулося збільшення вмісту легкогідролізованого азоту у ґрунті в середньому на 7,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм фосфору — на

10,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм калію — на 6,0 мг/кг ґрунту, а вмісту гумусу — на 0,07% порівняно з показниками аналізу ґрунту до проведення дослідів, що свідчить про ефективність застосування цієї технології за вирощування кукурудзи.

У контролі спостерігали зменшення вмісту легкогідролізованого азоту у ґрунті в середньому на 9,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм фосфору — на 13,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм калію — на 43,0 мг/кг ґрунту, а вміст гумусу — на 0,1% порівняно з показниками аналізу ґрунту до проведення дослідів.

У контролі висота рослин кукурудзи у середньому була на рівні 248,4 см. Середня кількість зерен у ряду становила 29 шт. Середня кількість рядів у качані — 12 шт. Маса 100 насінин — 220 г. За застосування Філазоніту СВ та Філазоніту ТО висота рослин кукурудзи була на 5,7% вище, ніж на контролі, середня кількість зерен у ряду — на 17,2% більше контролю, середня кількість рядів у качані — на 16,6% більше, ніж на контролі, маса 1000 насінин — на 7,7% більше контролю. Застосування ґрунтоцентричної технології забезпечило зростання висоти рослин кукурудзи на 12,3% до контролю, зростання середньої

кількості зерен у ряду на 34,5%, середньої кількості рядів у качані на 33,3%, маси 1000 насінин на 14,1%.

З метою визначення доцільності застосування досліджуваних технологій підвищення родючості ґрунту з економічної точки зору, а також для того, щоб встановити співвідношення витрат на застосовані заходи до вартості врожаю, отриманого в результаті їх застосування було розраховано показники економічної ефективності досліджуваних технологій.

Дослідження та розрахунки засвідчили (табл. 3), що дослід із внесенням Філазоніту СВ та Філазоніту ТО за вирощування гороху показав позитивний економічний ефект. Внаслідок використання цієї технології було отримано умовно-чистий дохід від її застосування в сумі 315,7 грн/га, а показник рентабельності застосованих заходів становив — 9,8%. Поріг окупності проведених заходів становив 0,42 т/га, що означає скільки додаткового врожаю потрібно отримати для покриття витрат на застосування цієї технології. Значно кращі економічні показники в середньому за роки досліджень було отримано від застосування ґрунтоцентричної технології. Від її застосування ми отримали умовно-

Таблиця 3. Економічна ефективність застосування технологій підвищення родючості ґрунту, УкрНДСКР ІЗР НААН, с. Бояни Новоселицького р-ну Чернівецької обл., 2017–2019 рр. (середнє за роки досліджень)

| Показник | Контроль (без внесення Філазоніту) | З внесенням Філазоніту СВ і Філазоніту ТО | Ґрунтоцентрична технологія |
|---|------------------------------------|---|----------------------------|
| Горох | | | |
| Вартість технології, грн/га | — | 2980,00 | 3730,00 |
| Витрати на її застосування, грн/га | — | 140,00 | 280,00 |
| Урожайність, т/га | 2,06 | 2,53 | 2,68 |
| Ціна реалізації 1 т, грн | 7510,00 | 7510,00 | 7510,00 |
| Додатковий врожай, т/га | — | 0,47 | 0,62 |
| Вартість додаткового врожаю, грн/га | — | 3529,70 | 4656,20 |
| Витрати, пов'язані з додатковим врожаєм, грн/га | — | 94,00 | 124,00 |
| Умовно-чистий дохід, грн/га | — | 315,70 | 522,20 |
| Рентабельність, % | — | 9,82 | 12,63 |
| Поріг окупності, т/га | — | 0,42 | 0,53 |

| Показник | Контроль (без внесення Філазоніту) | З внесенням Філазоніту СВ і Філазоніту ТО | Ґрунто- центрична технологія |
|---|--|---|------------------------------------|
| Соя | | | |
| Вартість технології, грн/га | — | 2980,00 | 5180,00 |
| Витрати на її застосування, грн/га | — | 140,00 | 280,00 |
| Урожайність, т/га | 2,28 | 2,78 | 3,12 |
| Ціна реалізації 1 т, грн | 7560,00 | 7560,00 | 7560,00 |
| Додатковий врожай, т/га | — | 0,50 | 0,84 |
| Вартість додаткового врожаю, грн/га | — | 3780,00 | 6350,40 |
| Витрати, пов'язані з додатковим врожаєм, грн/га | — | 75,00 | 126,00 |
| Умовно-чистий дохід, грн/га | — | 585,00 | 764,40 |
| Рентабельність, % | — | 18,31 | 13,68 |
| Поріг окупності, т/га | — | 0,41 | 0,72 |
| Картопля | | | |
| Вартість технології, грн/га | — | 2980,00 | 9040,00 |
| Витрати на її застосування, грн/га | — | 140,00 | 280,00 |
| Урожайність, т/га | 20,50 | 22,80 | 25,20 |
| Ціна реалізації 1 т, грн | 3720,00 | 3720,00 | 3720,00 |
| Додатковий врожай, т/га | — | 2,30 | 4,70 |
| Вартість додаткового врожаю, грн/га | — | 8556,00 | 17484,00 |
| Витрати, пов'язані з додатковим врожаєм, грн/га | — | 920,00 | 1880,00 |
| Умовно-чистий дохід, грн/га | — | 4516,00 | 6284,00 |
| Рентабельність, % | — | 111,78 | 56,11 |
| Поріг окупності, т/га | — | 0,84 | 2,51 |
| Кукурудза | | | |
| Вартість технології, грн/га | — | 2980,00 | 5890,00 |
| Витрати на її застосування, грн/га | — | 140,00 | 280,00 |
| Урожайність, т/га | 5,20 | 6,21 | 7,06 |
| Ціна реалізації 1 т, грн | 4550,00 | 4550,00 | 4550,00 |
| Додатковий врожай, т/га | — | 1,01 | 1,86 |
| Вартість додаткового врожаю, грн/га | — | 4595,50 | 8463,00 |
| Витрати, пов'язані з додатковим врожаєм, грн/га | — | 151,50 | 279,00 |
| Умовно-чистий дохід, грн/га | — | 1324,00 | 2014,00 |
| Рентабельність, % | — | 40,47 | 31,23 |
| Поріг окупності, т/га | — | 0,69 | 1,36 |

чистий дохід в сумі 522,2 грн/га, показник рентабельності становив — 12,6%, а поріг окупності — 0,53 т/га.

Внаслідок використання Філазоніту СВ та Філазоніту ТО за вирощування сої було отримано в середньому за роки досліджень умовно-чистий дохід у сумі 585,0 грн/га, а показник рентабельності становив —

18,3%. Поріг окупності становив 0,41 т/га. Від застосування ґрунтоцентричної технології отримали умовно-чистий дохід в сумі 764,4 грн/га, за рентабельності 13,7% та порогу окупності 0,72 т/га.

За застосування Філазоніту СВ та Філазоніту ТО на картоплі отримали умовно-чистий дохід у сумі 4516,0 грн/га, при

показнику рентабельності застосованих заходів 111,8%. Поріг окупності для застосування цієї технології становив 0,84 т/га. Від застосування ґрунтоцентричної технології отримали менший умовно-чистий дохід у сумі 6284,0 грн/га та показник рентабельності 56,1%. Нижчі показники за використання цієї технології зумовлені високою її вартістю (9040,0 грн/га) та витратами, які пов'язані з її застосуванням (280,0 грн/га). Поріг окупності для ґрунтоцентричної технології становив 2,51 т/га.

Внаслідок використання Філазоніту СВ та Філазоніту ТО за вирощування кукурудзи отримали умовно-чистий дохід у сумі 1324,0 грн/га, а показник рентабельності застосованих заходів становив 40,5%. Поріг окупності за вирощування кукурудзи становив 0,69 т/га. Від застосування ґрунтоцентричної технології отримано більший умовно-чистий дохід, ніж за застосування Філазоніту СВ та Філазоніту ТО, в сумі 2014,0 грн/га. Хоча, при цьому, показник рентабельності був меншим внаслідок вищої вартості цієї технології та становив 31,2%. Поріг окупності становив 1,36 т/га.

ВИСНОВКИ

За застосування Філазоніту СВ у нормі 10 л/га та Філазоніту ТО у нормі 15 л/га врожайність гороху підвищилася на 4,7 ц/га (22,8%), сої — на 5,0 ц/га (21,9%), картоплі — на 23,0 ц/га (11,2%), кукурудзи — на 10,1 ц/га (19,4%). За час застосування цієї технології підвищення родючості ґрунту встановлено зростання показників вмісту гумусу у ґрунті в середньому на 0,03–0,08%, легкогідролізованого азоту на 1,0–7,0 мг/кг, рухомих форм фосфору на 2,0–6,0 мг/кг та рухомих форм калію на 3,0–13,0 мг/кг ґрунту, що свідчить про покращення стану родючості ґрунту.

За оцінювання економічних показників ефективності застосування даної технології встановлено, що за вирощування гороху отримали умовно-чистий дохід на рівні 315,7 грн/га, за вирощування сої — 585,0 грн/га, за вирощування картоплі — 4516,0 грн/га, за вирощування кукурудзи — 1324,0 грн/га. Рівень рентабельності застосованих заходів у дослідженнях на горосі сягав 9,8%, на сої — 18,3, на картоплі — 111,8, на кукурудзі — 40,5%, тобто за застосування цієї технології не лише окупились витрати на її застосування, але і отримали високий дохід.

За застосування ґрунтоцентричної технології врожайність гороху підвищилася на 6,2 ц/га (30,1%), сої — на 8,4 ц/га (36,8%), картоплі — на 47,0 ц/га (22,9%), кукурудзи — на 18,6 ц/га (35,8%). Під час використання цієї технології встановлено зростання показників вмісту гумусу у ґрунті в середньому на 0,05–0,1%, легкогідролізованого азоту на 5,0–15,0 мг/кг, рухомих форм фосфору на 8,0–19,0 мг/кг та рухомих форм калію на 6,0–18,0 мг/кг ґрунту, що більше не лише за контроль, але й за варіант з застосуванням Філазоніту СВ та Філазоніту ТО.

За застосування ґрунтоцентричної технології на горосі отримали умовно-чистий дохід у межах 522,2 грн/га, за вирощування сої — 764,4, за вирощування картоплі — 6284,0, за вирощування кукурудзи — 2014,0 грн/га. Рівень рентабельності застосованих технологій у дослідженнях на горосі становив 12,6%, на сої — 13,7, на картоплі — 56,1, на кукурудзі — 31,2%. Хоча показники економічної ефективності нижчі за варіант із застосуванням Філазоніту СВ та Філазоніту ТО внаслідок вищої вартості цієї технології, але її застосування дало можливість покращити показники стану родючості ґрунту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Семенчук І.М., Шкрюбка М.І. Проблеми збереження та відтворення родючості ґрунтів України. *Агроекологія*. 2018. № 5. С. 49–52.
2. Яцук І.П., Панасенко В.М. Ґрунти потребують захисту. *Віче*. 2013. № 15. С. 44–45.
3. Гадало Я.М., Вожегова Р.А., Мальячук М.П. та ін. Еколого-економічна ефективність сидерації у сівозміні на зрошуваних землях півдня України. *Агроекологічний журнал*. 2020. № 2. С. 55–62. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207681>.
4. Літвінова В.В., Лаврентьєва К.В., Скляр Т.В. Роль

- ґрунтової мікрофлори у процесах мобілізації фосфору з його малорозчинних сполук. *Вісник проблем біології і медицини*. 2018. № 1 (142). С. 40–44. DOI: <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2018-1-1-142-40-45>.
5. Ходаківська О.В., Корчинська С.Г. Ефективність застосування мінеральних і органічних добрив у сільському господарстві. *Економіка АПК*. 2016. № 4. С. 21–27.
 6. Яцук І.П., Моклячук Л.І., Ліщук А.М. Національні та регіональні індикатори «зеленого зростання» сільського господарства. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 3. С. 7–17.
 7. Грищенко О.М., Запасний В.С., Ярмоленко Є.В., Шило Л.Г. Динаміка родючості ґрунтів Переяслав-Хмельницького району Київської області. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 3. С. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2019.183469>.
 8. Методики випробування і застосування пестицидів / за ред. Трибеля С.О. Київ: Світ, 2001. 448 с.
 9. Визначення біологічної ефективності пестицидів і агрохімікатів. Методичні вказівки / Чабанюк Я.В. та ін. Київ, 2013. 36 с.
 10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
 11. Кондратенко П.В. Методика економічної та енергетичної оцінки типів насаджень, сортів, інвестицій в основний капітал, інновацій та результатів технологічних досліджень у садівництві. Київ: Інститут садівництва НААН, 2006. 141 с.
 12. Гунчак М.В. Екотоксикологічне та економічне обґрунтування систем захисту яблуні від шкідливих організмів у Передкарпатській провінції Карпатської гірської зони України: дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.16. Київ, 2019. 228 с.

REFERENCES

1. Semenchuk, I.M. & Shkrobka, M.I. (2018). Problemy zberezhennia ta vidtvorennia rodiuchosti gruntiv Ukrainy [Problems of preservation and reproduction of soil fertility in Ukraine]. *Ahrosvit – Agrosvit*, 5, 49–52 [in Ukrainian].
2. Iatsuk, I.P. & Panasenko, V.M. (2013). Grunty potrebuui zakhystu [Soils need protection]. *Viche – Veche*, 15, 44–45 [in Ukrainian].
3. Hadzalo, Ya.M., Vozhehova R.A., Maliarchuk M.P. et al. (2020). Ekoloho-ekonomichna efektyvnist syderatsii u sivozmini na zroshuvanykh zemliakh pivdnia Ukrainy [Ecological and economic efficiency of greening in crop rotation on irrigated lands of the south of Ukraine]. *Ahroekolohichni zhurnal – Agroecological journal*, 2, 55–62. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207681> [in Ukrainian].
4. Litvinova, V.V., Lavrentieva, K.V. & Skliar, T.V. (2018). Rol gruntovoi mikroflory u protsesakh mobilizatsii fosforu z yoho malorozchynnykh spoluk [The role of soil microflora in the processes of mobilization of phosphorus from its insoluble compounds]. *Visnyk problem biologii i medytsyny – Bulletin of problems of biology and medicine*, 1 (142), 40–44. DOI: <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2018-1-1-142-40-45> [in Ukrainian].
5. Khodakivska, O.V. & Korchynska, S.H. (2016). Efektyvnist zastosuvannya mineralnykh i orhanichnykh dobrov u silskomu hospodarstvi [Efficiency of application of mineral and organic fertilizers in agriculture]. *Ekonomika APK – Economics of agro-industrial complex*, 4, 21–27 [in Ukrainian].
6. Iatsuk, I.P., Mokliachuk, L.I. & Lishchuk, A.M. (2017). Natsionalni ta regionalni indykatory «zele-noho zrostannia» silskoho hospodarstva [National and regional indicators of «green growth» of agriculture]. *Ahroekolohichni zhurnal – Agroecological journal*, 3, 7–17 [in Ukrainian].
7. Hryshchenko, O.M., Zapasnyi, V.S., Yarmolenko, Ye.V. & Shylo, L.H. (2019). Dynamika rodiuchosti gruntiv Pereiaslav-Khmelnytskoho raionu Kyivskoi oblasti [Dynamics of soil fertility of Pereiaslav-Khmelnytsky district of Kyiv region]. *Ahroekolohichni zhurnal – Agroecological journal*, 3, 35–41. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2019.183469> [in Ukrainian].
8. Trybel, S.O. (Ed). (2001). *Metodyky vyprobuvannya i zastosuvannya pestytsydiv [Test procedures and pesticides]*. Kyiv: Svit [in Ukrainian].
9. Chabaniuk, Ya.V. et al. (2013). *Vyznachennia biologichnoi efektyvnosti pestytsydiv i ahrokhimikativ. Metodychni vkazivky [Determination of biological effectiveness of pesticides and agrochemicals. Methodical instructions]*. Kyiv [in Ukrainian].
10. Dospikhov, B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Field experience methodology (with the basis of statistical processing of research results)]*. Moskva: Agropromizdat [in Russian].
11. Kondratenko, P.V. (Ed). (2006). *Metodyka ekonomichnoi ta enerhetychnoi otsinky typiv nasadzen, sortiv, investytsii v osnovnyi kapital, innovatsii ta rezultativ tekhnolohichnykh doslidzhen u sadivnytstvi [Methods of economic and energy assessment of types of plantations, varieties, fixed capital investments, innovations and results of technological research in horticulture]*. Kyiv: Instytut sadivnytstva NAAN [in Ukrainian].
12. Hunchak, M.V. (2019). *Ekotoksykologichne ta ekonomichne obgruntuvannya system zakhystu yabluni vid shkidlyvykh orhanizmiv u Peredkarpatskii provintsii Karpatskoi hirs'koi zony Ukrainy [Ecotoxicological and economic substantiation of protection systems of apple from harmful organisms in the Precarpathian province of Carpathian mountainous area of Ukraine]*. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 03.08.2022

ВПЛИВ БОЙОВИХ ДІЙ НА ВМІСТ ВАЛОВИХ ФОРМ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ СУМСЬКОГО ТА ОХТИРСЬКОГО Р-НІВ СУМСЬКОЇ ОБЛ.

Ю.О. Зайцев¹, О.М. Грищенко¹, С.А. Романова¹, І.О. Зайцева²

¹ Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України» (м. Київ, Україна)
e-mail: info@iogu.gov.ua; ORCID: 0000-0001-8368-8127
e-mail: grischenkoel@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1241-7183
e-mail: svkiev07@ukr.net; ORCID: 0000-0002-3051-1077

² Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (м. Дніпро, Україна)
e-mail: irinza.ldfr@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5789-7240

У статті висвітлено екологічну небезпеку військових дій на території України. Наведено результати експериментальних досліджень вмісту валових форм важких металів у десяти пробах ґрунтів, відібраних на землях сільськогосподарського призначення Сумського та Охтирського р-нів Сумської обл. Три проби відібрано з місць падіння авіабомб, сім — із місць розбитої військової техніки. У результаті проведених досліджень встановлено перевищення фонового рівня за вмістом свинцю в усіх зразках ґрунту, середній вміст елемента на забруднених територіях у 5,4 раза перевищував фонове значення. Перевищення фонового рівня за вмістом цинку відмічено у дев'яти з десяти зразків ґрунту, середній вміст елемента на забруднених територіях у 3,9 раза перевищував фонове значення. Середній вміст кадмію на забруднених територіях у 1,4 раза перевищував фонове значення (перевищення відмічено у восьми пробах ґрунту). У восьми пробах ґрунту встановлено перевищення фонового значення валового вмісту міді, в середньому по досліді — вміст міді в 4,6 раза перевищує фонове значення. Перевищення фонового значення за вмістом нікелю та заліза відмічено лише в трьох пробах ґрунту, а середній вміст елементів в 1,2 і 1,1 раза перевищував фонове значення. Середній вміст марганцю на забруднених територіях у 4,8 раза був вищий за фонове значення (перевищення відмічено у шести пробах ґрунту). За результатами досліджень встановлено перевищення ГДК валового вмісту свинцю (у шести пробах ґрунту), цинку та марганцю (у двох пробах ґрунту), міді (у п'яти пробах ґрунту) з місць бойових дій. За вмістом валових форм кадмію та нікелю перевищення ГДК не виявлено. Значно вищий коефіцієнт варіації вмісту валових форм важких металів у зоні бойових дій, порівнюючи зі вмістом поза зоною бойових дій (фонове значення,) може свідчити про інтенсивність впливу негативного чинника на ґрунтовий покрив. Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриття внаслідок бойових дій відмічено у місцях згорілої техніки (с. Косівщина, с. Старе Село, с. Низи Сумського р-ну Сумської обл.). За результатами кореляційного аналізу встановлено надзвичайно сильну залежність між умістом досліджуваних форм важких металів.

Ключові слова: військові дії, землі сільськогосподарського призначення, свинець, кадмій, залізо, магній, цинк, мідь, нікель, фоновий вміст, клас небезпеки, ГДК.

ВСТУП

Повномасштабне вторгнення Російської Федерації до України вже завдало та продовжує завдавати непоправної шкоди довкіллю, зокрема внаслідок забруднення та пошкодження ґрунтового покриття. Впродовж семи місяців активних бойових дій ґрунтовому покриттю дев'яти областей

України площею близько 21 млн га завдано непоправної шкоди. Військові дії призводять не лише до фізичного погіршення стану ґрунту, але й до його хімічного забруднення. Пряме потрапляння снарядів, згоріла військова техніка і нафтопродукти руйнують екосистему і забруднюють ґрунти та воду важкими металами і токсичними елементами. Найшкідливішими забруднювачами ґрунтів є високотоксичний свинець,

ртуть, арсен, кадмій, мідь, нікель та цинк [1; 2]. Ці та інші важкі метали під час військових дій потрапляють у навколишнє середовище від залишків вогнепальної зброї, що містить високі рівні металовмісних часток, а також від використання артилерії, гранат та ракет. Металеві рештки є одним з найнебезпечніших наслідків військових дій, вони, як правило, найдовше зберігаються в зонах конфлікту.

Забруднення важкими металами може відгукуватися не один десяток років, оскільки вони є полівалентними, добре сорбуються ґрунтами, утворюють важкорозчинні сполуки з фосфатами і гідроокисами, що сприяє їх поступовому нагромадженню в ґрунтового середовищі [3; 4]. Це зумовлює до підвищення токсичного потенціалу ґрунту, впливає на його біологічну активність, викликає патологічні зміни в протіканні біологічних процесів, накопичення шкідливих речовин у сільськогосподарських культурах. Нагромадження важких металів у ґрунті впливає на його родючість і мікробіологічну активність [1; 5]. Забруднення важкими металами є одним із факторів, що визначає продуктивність сільськогосподарських культур та якість сільськогосподарської продукції.

Завдяки високій мобільності важкі метали переміщуються ланцюгами харчування біологічних організмів і становлять загрозу для населення через свою токсичність, канцерогенність та мутагенність. Тому моніторинг екологічного стану ґрунтів щодо вмісту важких металів є надзвичайно важливим. Особливо у місцях, де проходили бойові дії [6].

Мета дослідження — визначити вплив військових дій на рівень забруднення ґрунтів важкими металами.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

З огляду на світовий досвід, військові конфлікти істотно впливають на властивості ґрунту переважно через його певні фізико-хімічні порушення та забруднення, які є особливо небезпечними для ґрунтів сільськогосподарського призначення. За

результатами досліджень D. Vidosavljevic та A. Verhe [7; 8] Хорватська війна призвела до різкого зростання концентрації важких металів у ґрунті. Вміст миш'яку, ртуті й свинцю на територіях важких боїв був вищим за дозволений національним законодавством, уміст ртуті перевищував максимально допустимий для ведення сільського господарства. Концентрація інших елементів у зразках із місць високої інтенсивності бойових дій перевищувала в 1,03–52,2 рази (нікель) уміст у зразках, відібраних із місць низької бойової активності. Зростання концентрації важких металів було відмічено навіть на відстані понад 6 км від території проведення бойових дій.

Зростання вмісту важких металів у ґрунті було відмічено після війни у Перській затоці. Найвищі концентрації встановлено за вмістом кадмію, кобальту, хрому, свинцю, нікелю, титану, ванадію та вольфраму [9]. Перевищення ГДК важких металів у ґрунтах стало наслідком воєн у Боснії та Герцеговині, Ірані, Кувейті, Північних Маріанських островах та ін. [10–13].

Важкі метали, які потрапили в ґрунт, можуть залишатися в ньому впродовж тривалого часу. Французькими науковцями у 2011 р. встановлено перевищення допустимих концентрацій важких металів на полях боїв Першої світової війни навіть через 90 років після їх забруднення [14].

За підтримки ОБСЄ 2014 р. проведено дослідження стану ґрунтового покриву зони конфлікту на сході України. Встановлено, що вміст важких металів у пробах ґрунту, відібраних на ділянках бойових дій, в більшості випадків перевищував фонове значення в 1,2–12 разів. Систематичне перевищення в 1,1–1,3 рази спостерігалось щодо ртуті, ванадію та кадмію [6; 15]. Найвищий вміст важких металів виявлено в місцях розриву снарядів [16].

Для недопущення негативних екологічних наслідків підвищеного вмісту важких металів у землях сільськогосподарського призначення необхідно проводити ретельний моніторинг площ, пошкоджених у результаті бойових дій, і своєчасно вжива-

ти заходи для відтворення та реабілітації ґрунтів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом досліджень слугували проби ґрунтів, відібрані на землях сільськогосподарського призначення Сумського та Охтирського р-нів Сумської обл. Три проби ґрунтів відібрано з місць падіння авіабомб (с. Сад Сумського р-ну (проба 1), с. Климове (9) та м. Охтирка (10) Охтирського р-ну) та сім проб – з місць розбитої військової техніки (с. Косівщина (2), с. Старе Село (3), с. Низи (4), с. Верхня Сироватка (5) Сумського р-ну та с. Боромля (6), с. Білка (8), м. Тростянець (7) Охтирського р-ну). Контрольні (фонові) проби – з територій, що були поряд (за 100 м від точки ураження), характеризувалися таким самим типом ґрунту, за винятком впливу бойових дій.

Лабораторний аналіз проб проводили в акредитованій лабораторії (за стандартом ISO/IEC–17025:2017) Дніпропетровської філії ДУ «Держґрунтохорона». Вміст валових форм важких металів визначали відповідно до ДСТУ ISO 11047:2005 [17].

Оцінку екологічного стану ґрунтів за вмістом важких металів проводили шляхом порівняння їх умісту у порушеному внаслідок бойових дій ґрунті з умістом у ґрунті, відібраному поза зоною бойових дій, та гранично допустимою концентрацією (ГДК) [18].

Розрахунки кореляційних взаємозв'язків проводили методом кореляційного аналізу за такою градацією: коефіцієнт кореляції (r) менше 0,3 – залежність слабка, від 0,3 до 0,7 – середня, вище 0,7 – сильна (перевищує критичне значення) [19].

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

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Особливу небезпеку становить забруднення ґрунтів сільськогосподарського призначення важкими металами, оскільки

вони є надзвичайно токсичними навіть у мінімальних кількостях. Важкі метали не піддаються процесам розкладання, а здатні лише перерозподілятися між природними середовищами. Вони мають здатність накопичуватися у сільськогосподарських культурах, а після їх споживання – концентруватися в живих організмах, викликаючи при цьому різні патології [16; 20]. Основними забруднювачами ґрунтів вважаються свинець, кадмій та цинк.

Свинець – важкий метал I класу небезпеки [21], є одним з найтоксичніших хімічних елементів навіть у незначних кількостях. Забруднення свинцем ґрунту створює загрозу ураження цим елементом населення, що проживає в районах ураження, і насамперед дітей, які більш чутливі до впливу важких металів [22]. Елемент має невисоку фітотоксичність. Основна частина свинцю, який потрапляє до рослини, затримується у її кореневій системі.

Валовий вміст свинцю у точках відбору ґрунтів у зоні бойових дій варіював від 14,17 до 347,43 мг/кг ґрунту, поза зоною бойових дій (фонове значення) – від 7,45 до 48,96 мг/кг ґрунту. Перевищення фонового рівня за цим елементом відмічено в усіх зразках ґрунту, а середній вміст свинцю на забруднених територіях у 5,4 раза перевищував фонове значення (табл. 1).

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву виявлено у пробах ґрунту 2, 3 та 4 з місць згорілої техніки, вміст свинцю в яких перевищує фонове значення в 11,4; 7,1 і 6,3 раза відповідно. Найнижчий вміст свинцю та найменшу різницю з фоновими значеннями виявлено у місцях падіння авіабомб (проби ґрунту 1, 9 й 10) та у пробі 7, відібраній у місці згорілої техніки (рис. 1).

У результаті проведених досліджень виявлено перевищення ГДК у шести зразках ґрунту (3, 4, 5, 6 і 8), відібраних у зоні бойових дій, та одному зразку (3) – поза зоною бойових дій.

Валовий вміст свинцю є одним з найбільш варіабельних показників. Коефіцієнт варіації за вмістом елементу становив

Таблиця 1. Уміст валових форм важких металів I класу небезпеки на землях сільськогосподарського призначення Сумського та Охтирського р-нів Сумської обл.

| Проба ґрунту | Свинець, мг/кг ґрунту | | | Цинк, мг/кг ґрунту | | | Кадмій, мг/кг ґрунту | | |
|---------------------------------|---------------------------|---|------------------------|---------------------------|---|------------------------|---------------------------|---|------------------------|
| | у зоні впливу бойових дій | поза зоною впливу бойових дій (фонове значення) | % до фонового значення | у зоні впливу бойових дій | поза зоною впливу бойових дій (фонове значення) | % до фонового значення | у зоні впливу бойових дій | поза зоною впливу бойових дій (фонове значення) | % до фонового значення |
| 1 | 15,74 | 11,94 | 131,8 | 35,52 | 35,98 | 98,7 | 0,54 | 0,54 | 100,0 |
| 2 | 312,38* | 27,39 | 1140,5 | 209,85 | 84,60 | 248,0 | 1,71 | 0,51 | 333,3 |
| 3 | 347,43* | 48,96* | 709,6 | 1012,31* | 214,86 | 471,1 | 1,76 | 0,69 | 255,1 |
| 4 | 180,19* | 28,44 | 633,6 | 397,47* | 51,97 | 764,8 | 0,72 | 0,67 | 107,5 |
| 5 | 69,74* | 15,06 | 463,1 | 201,83 | 37,53 | 537,8 | 0,60 | 0,87 | 69,0 |
| 6 | 80,12* | 17,14 | 467,4 | 193,77 | 43,92 | 441,2 | 0,56 | 0,51 | 109,8 |
| 7 | 25,10 | 16,58 | 151,4 | 126,68 | 57,64 | 219,8 | 0,44 | 0,43 | 102,3 |
| 8 | 44,08* | 18,18 | 242,5 | 201,25 | 39,56 | 508,7 | 0,61 | 0,45 | 135,6 |
| 9 | 14,17 | 7,45 | 190,2 | 132,78 | 38,56 | 344,3 | 0,22 | 0,15 | 146,7 |
| 10 | 19,88 | 15,19 | 130,9 | 104,68 | 66,10 | 158,4 | 0,42 | 0,41 | 102,4 |
| Середнє значення | 110,88 | 20,63 | 537,4 | 261,61 | 67,07 | 390,0 | 0,76 | 0,52 | 144,7 |
| Стандартна помилка | 39,79 | 3,73 | | 88,63 | 17,13 | | 0,17 | 0,06 | |
| Середньо-квадратичне відхилення | 125,83 | 11,80 | | 280,29 | 54,17 | | 0,53 | 0,19 | |
| Коефіцієнт варіації | 113,50 | 57,20 | | 107,10 | 80,80 | | 70,10 | 37,00 | |
| Min | 14,17 | 7,45 | | 35,52 | 35,98 | | 0,22 | 0,15 | |
| Max | 347,40 | 48,96 | | 1012,31 | 214,86 | | 1,76 | 0,87 | |
| НІР _{0,5} | 90,01 | 8,44 | | 200,49 | 38,75 | | 0,38 | 0,14 | |

Примітка: * Показник перевищує ГДК (ГДК для валового вмісту свинцю – 32 мг/кг ґрунту, цинку – 300 мг/кг ґрунту, кадмію – 3 мг/кг ґрунту [18]).

113,5% у зразках, відібраних у зоні бойових дій, та 57,2% – поза зоною впливу.

Цинк належить до металів I групи небезпеки [21], характеризується помірною токсичністю та слабкою фітотоксичністю [1]. За підвищеною вологістю ґрунту має високу міграційну здатність. За надлишкового надходження до організму людини і тварин токсично діє на серце, кров та інші органи, виявляє канцерогенну дію.

Валовий вміст цинку в точках відбору ґрунтів у зоні бойових дій варіював від 35,52 до 1012,31 мг/кг ґрунту, поза зоною бойових дій – від 35,98 до 214,86 мг/кг ґрунту.

Перевищення фонового рівня відмічено у дев'яти з десяти проб ґрунту. Середній вміст цинку у зразках із місць бойових дій у 3,9 раза перевищує фонове значення (див. *табл. 1*).

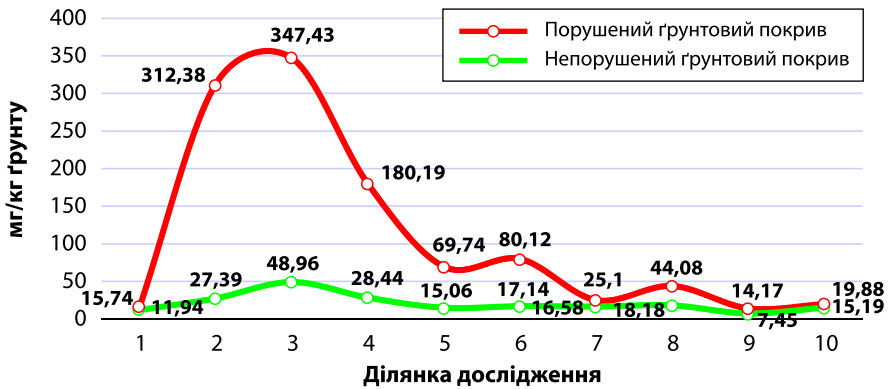


Рис. 1. Уміст валових форм сполук свинцю

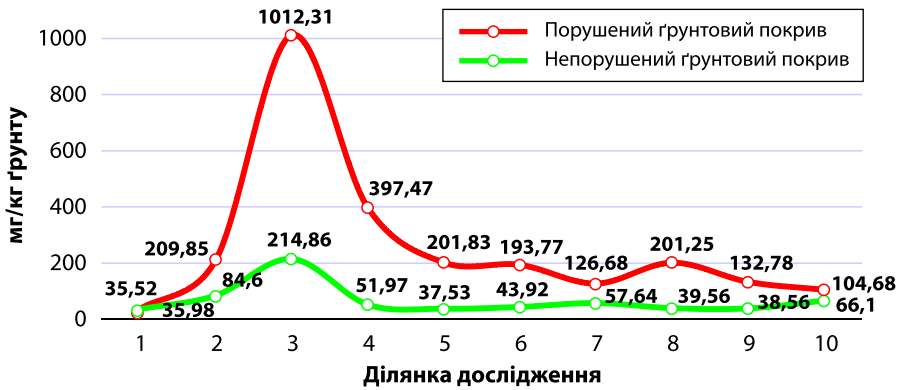


Рис. 2. Уміст валових форм сполук цинку

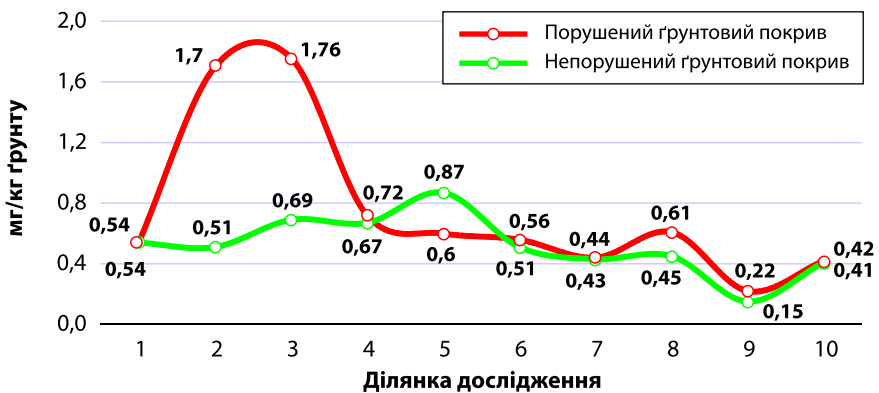


Рис. 3. Уміст валових форм сполук кадмію

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву виявлено у пробах ґрунту 4, 5, 8 та 3, відібраних із місць згорілої техніки. Вміст цинку у цих пробах перевищує фонове значення від 471,1 до 764,8%. Найнижчий вміст цинку та найменшу різницю з фоновими значеннями виявлено у місцях падіння авіабомб (проби ґрунту 1 і 10). Слід зазначити, що валовий вміст цинку у пробі 1 був нижчий за фоновий показник (рис. 2).

У результаті проведених досліджень виявлено перевищення ГДК у двох зразках ґрунту (3, 4), відібраних у зоні бойових дій.

Одним із найбільш варіабельних показників був валовий вміст цинку. Коефіцієнт варіації за вмістом елементу становив 107,1% у зразках, відібраних у зоні бойових дій, та 80,8% — поза зоною впливу.

Кадмій і його сполуки є найбільш важливими під час вивчення проблем забруднення. Вони характеризуються надзвичайною токсичністю навіть у незначних концентраціях та належать до I класу небезпеки [21], легко мігрують у ґрунтах, швидко засвоюються і накопичуються у рослинах [1; 16]. Через забруднені харчові продукти рослинного й тваринного походження, кадмій може потрапити в організм, де порушує процеси формування кісткової тканини та провокує хвороби органів дихання. Кадмій знижує здатність організму протистояти хворобам. Він має мутагенні і канцерогенні властивості, негативно впливає на спадковість, руйнує еритроцити крові, призводить до захворювання нирок та сім'яних залоз, викликає гастрит і анемію. Для людини допустима доза кадмію становить 70 мг/кг на добу для дорослих і повністю виключає його присутність у питній воді та їжі для дітей.

Валовий вміст кадмію у точках відбору ґрунтів у зоні бойових дій варіював від 0,22 до 1,76 мг/кг ґрунту, поза зоною бойових дій (фонове значення) — від 0,15 до 0,87 мг/кг ґрунту. Перевищення фонового рівня відмічено у восьми з десяти проб ґрунту (2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 та 10). Слід зауважити, що у пробах ґрунту 7 та 10 зростання

показника було незначним (на 0,01 мг/кг ґрунту), у пробі 1 — валовий вміст кадмію був на рівні фонового значення (0,54 мг/кг ґрунту). Лише проба 5 характеризувалася нижчим за фонове значення вмістом кадмію. Середній вміст кадмію на забруднених територіях у 1,4 раза перевищував фонове значення (див. *табл. 1*).

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву виявлено у пробах ґрунту 2 та 3 з місць згорілої техніки, вміст кадмію в яких перевищує фонове значення в 3,3 і 2,6 разів відповідно.

Найнижчий вміст кадмію та найменшу різницю з фоновими значеннями виявлено у місцях падіння авіабомб (проби ґрунту 1, 9 і 10) та у пробі 7, відібраній у місці згорілої техніки (рис. 3). Перевищення ГДК не виявлено.

Одним із найменш варіабельних показників серед досліджуваних елементів є валовий вміст свинцю. Коефіцієнт варіації становив 70,1% у зразках, відібраних у зоні бойових дій та 37% — поза зоною впливу.

Мідь належить до важких металів II класу небезпеки [21], має слабку фітотоксичність, проте є дуже токсичною для людського організму [1; 16]. За надлишкового надходження до організму людей і тварин виявляє канцерогенну дію й має токсичний вплив на серце, кров та інші органи.

Валовий вміст сполук міді у точках відбору ґрунтів у зоні бойових дій варіював від 4,5 до 610,38 мг/кг ґрунту, поза зоною бойових дій — від 0,79 до 177,07 мг/кг ґрунту (*табл. 2*).

Перевищення фонового рівня відмічено у восьми з десяти проб ґрунту, а середній вміст міді на забруднених територіях у 4,6 раза перевищував фонове значення. У зразках 6 і 10 — вміст елементу був нижчий за фонове значення (див. *табл. 2*).

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву виявлено у пробах ґрунту 2, 5, 4 та 3 з місць згорілої техніки, вміст міді в яких перевищує фонове значення в 7–20 разів. Найнижчий вміст міді виявлено у місцях падіння авіабомб (проби ґрунту 9, 10 і 1) та у пробі 7, відібраній у місці згорілої техніки (рис. 4).

Таблиця 2. Уміст валових форм важких металів II класу небезпеки на землях сільськогосподарського призначення Сумського та Охтирського р-нів Сумської обл.

| Проба ґрунту | Мідь, мг/кг ґрунту | | | Нікель, мг/кг ґрунту | | |
|--------------------------------|---------------------------|---|------------------------|---------------------------|---|------------------------|
| | у зоні впливу бойових дій | поза зоною впливу бойових дій (фонове значення) | % до фонового значення | у зоні впливу бойових дій | поза зоною впливу бойових дій (фонове значення) | % до фонового значення |
| 1 | 21,21 | 14,66 | 144,7 | 5,06 | 7,24 | 69,9 |
| 2 | 554,76* | 25,85 | 2146,1 | 7,04 | 6,49 | 108,5 |
| 3 | 610,38* | 83,52 | 730,8 | 23,22 | 6,38 | 363,9 |
| 4 | 122,33* | 14,77 | 828,2 | 6,28 | 7,09 | 88,6 |
| 5 | 141,88* | 11,97 | 1185,3 | 6,50 | 6,80 | 95,6 |
| 6 | 111,71* | 177,07* | 63,1 | 6,40 | 7,69 | 83,2 |
| 7 | 27,71 | 15,33 | 180,8 | 7,05 | 7,43 | 94,9 |
| 8 | 53,69 | 12,33 | 435,4 | 7,72 | 8,32 | 92,8 |
| 9 | 4,50 | 0,79 | 569,6 | 2,50 | 1,74 | 143,7 |
| 10 | 6,10 | 6,13 | 99,5 | 2,68 | 3,63 | 73,8 |
| Середнє значення | 165,43* | 36,24 | 456,5 | 7,44 | 6,28 | 118,5 |
| Стандартна помилка | 71,37 | 17,28 | | 1,84 | 0,64 | |
| Середньоквадратичне відхилення | 225,68 | 54,63 | | 5,82 | 2,03 | |
| Коефіцієнт варіації | 136,40 | 150,70/ 119,30** | | 78,20 | 32,30 | |
| Min | 4,50 | 0,79 | | 2,50 | 1,74 | |
| Max | 610,38 | 177,07 | | 23,22 | 8,32 | |
| НІР _{0,5} | 161,43 | 39,08 | | 4,17 | 1,45 | |

Примітка: * Показник перевищує ГДК (ГДК для валового вмісту міді – 100 мг/кг ґрунту, нікелю – 50 мг/кг ґрунту [18]). ** Коефіцієнт варіації без урахування зразка 6.

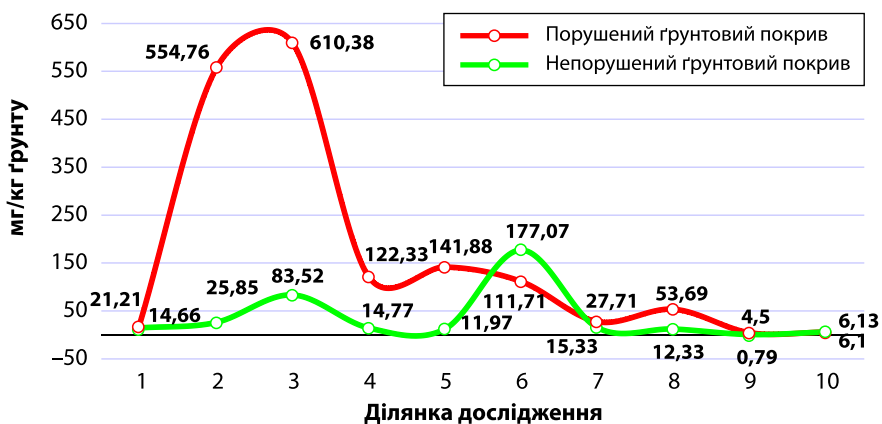


Рис. 4. Уміст валових форм сполук міді

У результаті проведених досліджень виявлено перевищення ГДК у п'яти пробах ґрунту (2–6), відібраних у місцях згорілої техніки. Перевищення ГДК також відмічено у зразку 6, відбраному поза зоною бойових дій. Слід зазначити, що вміст валових форм міді у цьому зразку на 65,36 мг/кг ґрунту перевищував значення показника у відповідній пробі ґрунту з зони бойових дій та у 8,6 раза перевищував середнє значення вмісту елемента в інших фонових зразках.

Одним із найбільш варіабельних показників був валовий вміст свинцю. Коефіцієнт варіації за вмістом елемента у зразках, відібраних у зоні бойових дій, становив 136,4% та 150,7% (119,3% без урахування зразка 6) – поза зоною впливу (фонові значення).

Нікель належить до елементів II класу небезпеки [21], потрапляючи на шкіру і в органи дихання може викликати гострі та хронічні отруєння.

Валовий вміст нікелю у точках відбору ґрунтів у зоні бойових дій варіював від 2,50 до 23,22 мг/кг ґрунту, поза зоною бойових дій – від 1,74 до 8,32 мг/кг ґрунту.

Перевищення фонових значення відмічено лише у трьох пробах ґрунту (2, 3 – з місць згорілої техніки, 9 – падіння авіабомби). Середній вміст нікелю у зразках із місць бойових дій у 1,2 раза перевищує фонове значення (див. *табл. 2*).

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву виявлено у пробі ґрунту 3, відібраній із місць згорілої техніки, вміст нікелю в якій перевищує фонове значення у 3,6 раза. Найнижчий вміст нікелю виявлено у місцях падіння авіабомб (проби ґрунту 9, 10 та 1). Перевищення ГДК за вмістом валових форм нікелю не виявлено (*рис. 5*).

Валовий вміст нікелю характеризується середньою варіабельністю. Коефіцієнт варіації за вмістом елемента у зразках, відібраних у зоні бойових дій, становив 78,2% та 32,3% – поза зоною впливу (фонові значення).

Залізо є одним із найпоширеніших елементів у природі, відноситься до III класу небезпеки. У природі існує у трьох станах, із них найбільш шкідливим для навколишнього середовища є стан іржі [21; 22].

Уміст валових форм заліза у точках відбору ґрунтів у зоні бойових дій варіював від 3430 до 26353 мг/кг ґрунту, поза зоною бойових дій – від 470 до 15195 мг/кг ґрунту. Перевищення фонових рівнів відмічено лише у трьох пробах ґрунту (3 і 5 з місць згорілої техніки та 9 – з місця падіння авіабомби). Середній вміст заліза на забруднених територіях у 1,1 раза перевищував фонове значення (*табл. 3*).

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву виявлено у пробі 3, в якій вміст заліза, порівняно з фоновим зна-

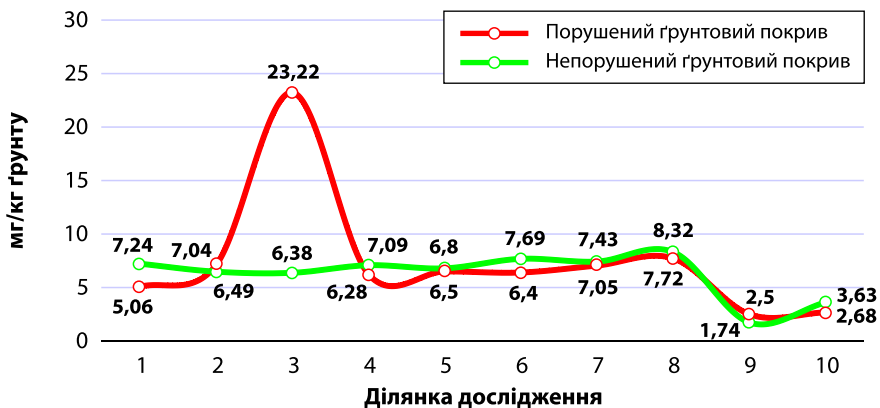


Рис. 5. Уміст валових форм нікелю

Таблиця 3. Уміст валових форм важких металів III класу небезпеки на землях сільськогосподарського призначення Сумського та Охтирського р-нів Сумської обл.

| Проба ґрунту | Залізо, мг/кг ґрунту | | | Манган, мг/кг ґрунту | | |
|--------------------------------|---------------------------|---|------------------------|---------------------------|---|------------------------|
| | у зоні впливу бойових дій | поза зоною впливу бойових дій (фонове значення) | % до фонового значення | у зоні впливу бойових дій | поза зоною впливу бойових дій (фонове значення) | % до фонового значення |
| 1 | 8728,00 | 12158,00 | 71,8 | 99,56 | 188,42 | 52,8 |
| 2 | 9536,00 | 10031,00 | 95,1 | 3524,15* | 242,46 | 1453,5 |
| 3 | 26353,00 | 11219,00 | 234,9 | 3545,19* | 312,91 | 1133,0 |
| 4 | 11599,00 | 15195,00 | 76,3 | 872,3 | 172,32 | 506,2 |
| 5 | 10887,00 | 10189,00 | 106,9 | 332,16 | 201,44 | 164,9 |
| 6 | 9784,00 | 11888,00 | 82,3 | 322,01 | 182,85 | 176,1 |
| 7 | 9234,00 | 11428,00 | 80,8 | 216,36 | 333,81 | 64,8 |
| 8 | 12392,00 | 12604,00 | 98,3 | 197,06 | 199,74 | 98,7 |
| 9 | 3430,00 | 470,00 | 729,8 | 62,29 | 21,86 | 284,9 |
| 10 | 3656,00 | 4687,00 | 78,0 | 83,09 | 87,71 | 94,7 |
| Середнє значення | 10559,90 | 9986,90 | 105,7 | 923,49 | 194,08 | 476,2 |
| Стандартна помилка | 1997,90 | 1352,40 | | 441,37 | 29,37 | |
| Середньоквадратичне відхилення | 6317,77 | 4276,54 | | 1395,70 | 92,89 | |
| Коефіцієнт варіації | 59,80 | 42,80 | | 150,70 | 47,80 | |
| Min | 3430,00 | 470,00 | | 62,29 | 21,86 | |
| Max | 26353,00 | 15195,00 | | 3545,19 | 333,81 | |
| НІР _{0,5} | 4519,20 | 3059,00 | | 998,39 | 66,44 | |

Примітка: *Показник перевищує ГДК (ГДК для валового вмісту мангану – 1500 мг/кг ґрунту, заліза – не нормується [18]).

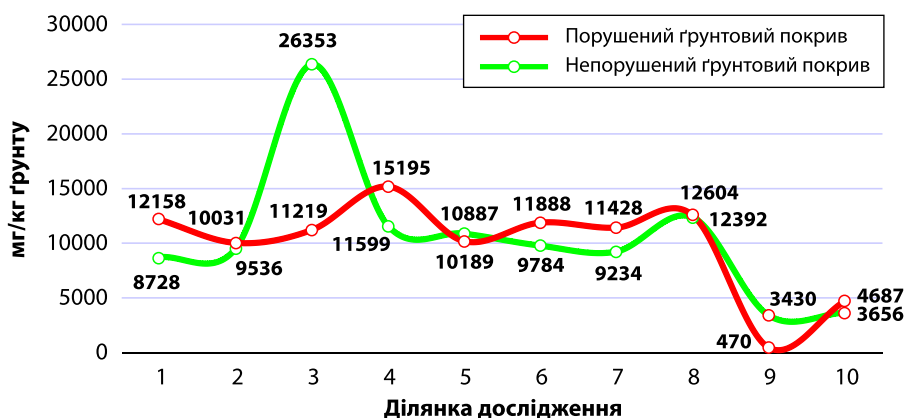


Рис. 6. Уміст валових форм сполук заліза

ченням, збільшився на 15134 мг/кг ґрунту (рис. 6).

Серед досліджуваних елементів, валовий вміст нікелю характеризувався найменшою варіабельністю, а коефіцієнт варіації за вмістом елементу у зразках, відібраних у зоні бойових дій, становив 59,8% та 42,8% — поза зоною впливу (фонові значення).

Манган належить до важких металів III класу небезпеки, має слабку фітотоксичність, проте перевищення його вмісту в ґрунті має шкідливий вплив на організм людини та призводить до руйнування нервової системи [21; 22].

Уміст валових форм марганцю у точках відбору ґрунтів у зоні бойових дій варіював від 62,29 до 3545,19 мг/кг ґрунту, поза зоною бойових дій — від 21,86 до 333,81 мг/кг ґрунту. Перевищення фонових рівнів відмічено у шести пробах ґрунту. Середній вміст елементу у зразках, відібраних у зоні впливу бойових дій, у 4,8 раза був вищим за фонове значення (див. табл. 3).

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву виявлено у пробах 2 та 3, де вміст валових форм марганцю перевищує фонове значення у 14,5 і 11,3 раза відповідно (1453,5 та 1133,0 %). У результаті проведених досліджень перевищення ГДК за вмістом валових форм мангану виявлено у пробах ґрунту 2 та 3 з місць впливу бойових дій (рис. 7).

Коефіцієнт варіації валового вмісту марганцю у зразках, відібраних у зоні бойових дій, становив 150,7 % і 47,8 % — поза зоною впливу (фонові значення). Варіабельність показника була найвищою серед досліджуваних елементів.

За результатами досліджень вмісту валових форм важких металів у пробах ґрунту, відібраних у зоні бойових дій, встановлено кореляційні зв'язки між їх вмістом (табл. 4).

У результаті проведених досліджень встановлено, що взаємозв'язок між вмістом валових форм:

- **марганцю** та інших форм важких металів варіював у межах 0,66–0,99. Найтіснішу позитивну залежність відмічено між вмістом марганцю та: вмістом міді ($r = 0,99$), кадмію ($r = 0,98$) та вмістом свинцю ($r = 0,97$); дещо нижчий взаємозв'язок цього показника виявлено з вмістом нікелю та цинку ($r = 0,71$ і $0,7$ відповідно). Найслабший взаємозв'язок виявлено між марганцем та залізом ($r = 0,66$);
- **цинку** та інших форм важких металів варіював у межах 0,7–0,94. Найтіснішу позитивну залежність відмічено між вмістом цинку та вмістом нікелю і заліза ($r = 0,94$ та $0,91$); дещо слабший взаємозв'язок цього показника виявлено з вмістом свинцю ($r = 0,77$). Най-

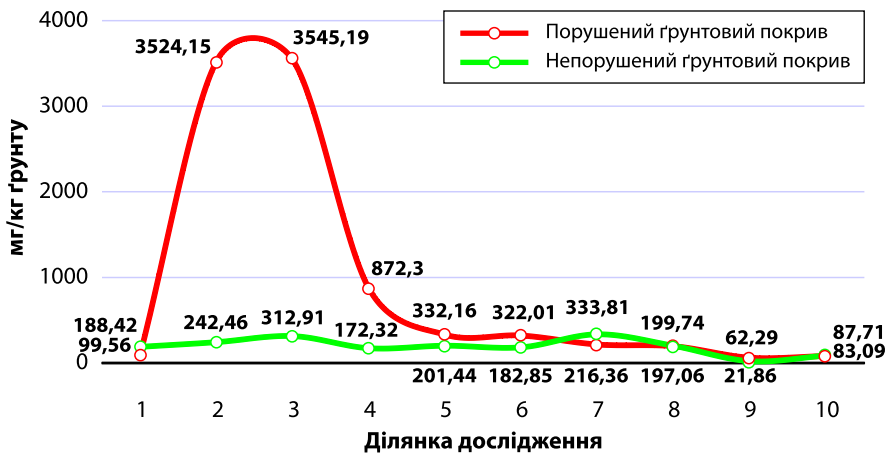


Рис. 7. Уміст валових форм сполук мангану

Таблиця 4. Кореляції між умістом валових форм важких металів у пробах ґрунту, відібраних у зоні бойових дій

| Ознака | Манган | Цинк | Залізо | Свинець | Кадмій | Мідь | Нікель |
|----------------|--------|------|--------|---------|--------|------|--------|
| Манган | 1 | | | | | | |
| Цинк | 0,70 | 1 | | | | | |
| Залізо | 0,66 | 0,91 | 1 | | | | |
| Свинець | 0,97 | 0,77 | 0,71 | 1 | | | |
| Кадмій | 0,98 | 0,71 | 0,72 | 0,96 | 1 | | |
| Мідь | 0,99 | 0,73 | 0,71 | 0,96 | 0,98 | 1 | |
| Нікель | 0,71 | 0,94 | 0,97 | 0,73 | 0,74 | 0,75 | 1 |

слабший взаємозв'язок був з кадмієм та марганцем ($r = 0,71$ і $0,7$ відповідно);

- **заліза** та інших форм важких металів варіював у межах $0,66$ – $0,97$. Найтіснішу позитивну залежність відмічено між умістом заліза та вмістом нікелю і цинку ($r = 0,97$ та $0,91$); дещо слабший взаємозв'язок цього показника виявлено з вмістом кадмію, свинцю та міді ($r = 0,72$ і $0,71$). Найслабший взаємозв'язок був із манганом ($r = 0,66$);
- **свинцю** та інших форм важких металів варіював у межах $0,71$ – $0,97$. Найтіснішу позитивну залежність відмічено з умістом марганцю, кадмію та міді ($r = 0,97$; $0,96$ і $0,96$ відповідно); дещо слабший взаємозв'язок цього показника виявлено з умістом цинку, нікелю та заліза ($r = 0,77$; $0,73$ і $0,71$ відповідно);
- **кадмію** та інших форм важких металів варіював у межах $0,71$ – $0,98$. Найтіснішу позитивну залежність відмічено з умістом марганцю, міді та свинцю ($r = 0,98$; $0,98$ і $0,96$ відповідно); слабший взаємозв'язок цього показника виявлено з умістом нікелю, заліза та цинку ($r = 0,74$; $0,72$ і $0,71$ відповідно);
- **міді** та інших форм важких металів варіював у межах $0,71$ – $0,99$. Найтіснішу позитивну залежність відмічено з умістом марганцю, кадмію та свинцю ($r = 0,99$; $0,98$ і $0,96$ відповідно); слабший взаємозв'язок цього показника виявлено з умістом нікелю, цинку та заліза ($r = 0,75$; $0,73$ і $0,71$ відповідно);

- **нікелю** та інших форм важких металів варіював у межах $0,71$ – $0,97$. Найтіснішу позитивну залежність відмічено з умістом заліза та цинку ($r = 0,99$; $0,98$ і $0,96$ відповідно); слабший взаємозв'язок цього показника виявлено з умістом міді, кадмію, свинцю та марганцю ($r = 0,75$; $0,74$; $0,73$ і $0,71$ відповідно).

За результатами розрахунків кореляційних взаємозв'язків можна стверджувати, що існує високий ступінь залежності між умістом досліджуваних форм важких металів у ґрунтах, що зазнали впливу бойових дій.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень встановлено перевищення фонових рівнів за валовим умістом свинцю в усіх десяти пробах ґрунту, цинку – дев'яти, кадмію та міді – восьми, марганцю – шести, нікелю та заліза – у трьох, а середній вміст свинцю на забруднених територіях у 5,4 раза перевищував фонове значення, марганцю – у 4,8 раза, міді – 4,6, цинку – 3,9, кадмію – 1,4, нікелю та заліза – в 1,2 та 1,1 раза.

Перевищення ГДК валового вмісту свинцю виявлено у шести пробах ґрунту, міді – п'яти пробах ґрунту, цинку та мангану – у двох пробах ґрунту з місць бойових дій. За вмістом валових форм кадмію та нікелю перевищення ГДК не виявлено.

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву внаслідок бойових дій відмі-

чено у місяць згорілої техніки (с. Косівщина, с. Старе Село, с. Низи Сумського р-ну Сумської обл.).

Значно вищий коефіцієнт варіації вмісту валових форм важких металів у зоні бойових дій, порівнюючи з вмістом поза зоною бойових дій (фонове значення), може свідчити про інтенсивність впливу негативного чинника на ґрунтовий покрив.

За результатами кореляційного аналізу встановлено надзвичайно сильну залеж-

ність між вмістом досліджуваних форм важких металів.

Для недопущення негативних наслідків щодо організму людини необхідно здійснювати ретельний моніторинг площ ґрунтів, пошкоджених та забруднених у результаті бойових дій, що дасть можливість своєчасно вживати заходів для їх відтворення та реабілітації, а також встановити межі забруднених ділянок із метою їх відновлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шепелюк М.О. Визначення вмісту важких металів у ґрунтах різних екологічних зон міста Луцька. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 107. С. 317–321.
2. Флоря Л.В. Оцінка рівня забруднення ґрунтів важкими металами та їх вплив на урожайність сільськогосподарських культур у Північно-Західному Причорномор'ї. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2013. Вип. 13. С. 131–141.
3. Корсунь С.Г., Клименко І.І., Болоховська В.А., Болоховський В.В. Транслокація важких металів у системі «ґрунт–рослина» за вапнування та впливу біологічних препаратів. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 1. С. 29–35. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2019.163245>
4. Ткачук О.П., Шкатула Ю.М., Тітаренко О.М. Сільськогосподарська екологія: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, 2020. 542 с.
5. Пашенко Я.В. Буферні властивості ґрунтів Полісся різного генезису щодо важких металів. *Агрохімія і ґрунтознавство: міжвідомчий тематичний збірник*. 1988. Спецвип. С. 77–78.
6. Денісов Н., Аверін Д., Ющук А. та ін. Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на сході України. Київ: ВАІТЕ, 2017. 88 с.
7. Vidosavljevic D. et al. Soil contamination as a possible long-term consequence of war in Croatia. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science*. 2013. Vol. 63. № 4. P. 322–329. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09064710.2013.777093>
8. Berhe A. The contribution of landmines to land degradation. *Land Degradation and Development*. 2006. Vol. 18 (1). P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.754>.
9. Sadiq M., AlThagafi K.M., Mian A.A. Preliminary Evaluation of Metal Contamination of Soils from the Gulf War Activities. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 1992. Vol. 49. P. 633–639.
10. Tomic N.T. et al. Examining the Effects of the Destroying Ammunition, Mines and Explosive Devices on the Presence of Heavy Metals in Soil of Open Detonation Pit: Part 1 – Pseudo-total Concentration. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2018. Vol. 229. № 301. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3957-0>
11. Tomic N.T. et al. Examining the Effects of the Destroying Ammunition, Mines and Explosive Devices on the Presence of Heavy Metals in Soil of Open Detonation Pit; Part 2: Determination of Heavy Metal Fractions. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2018. Vol. 229. № 303. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3950-7>
12. Broomandi P., Dabir B., Bonakdarpour B., Rashidi Y. Identification of dust storm origin in South – West of Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2017. Vol. 15. № 16. DOI: 10.1186/s40201-017-0280-4
13. Denton G.R.W. et al. Impact of WWII dumpsites on Saipan (CNMI): heavy metal status of soils and sediments. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23. P. 11339–11348. DOI: 10.1007/s11356-016-6603-7
14. Bausinger T., Bonnaire E., Preuss J. Exposure assessment of a burning ground for chemical ammunition on the Great War battlefields of Verdun. *Sci Total Environ*. 2007. 382. P. 259–271. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.04.029
15. Кравченко О., Василюк О., Войціховська А., Норенко К. Дослідження впливу військових дій на довкілля на сході України. *Схід*. 2015. № 2. С. 118–123. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Skhid_2015_2_23
16. Лісова Н. Вплив військових дій в Україні на екологічний стан території. *Наукові записки*. 2017. № 2. С. 165–173.
17. ДСТУ ISO 11047:2005. Якість ґрунту. Визначення кадмію, хрому, кобальту, кунфруму, плумбуму, мангану, ніколу та цинку в екстракті, отриманому після оброблення ґрунту «царською водою». Методи полуменевої та електротермічної атомно-абсорбційної спектроскопії (ISO 11047:1998, ІДТ). [Чинний від 2008–01–01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2004. 20 с.
18. 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.

19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
20. Волошинська С.С. Біоіндикація стану забруднення довкілля важкими металами (на прикладі автомагістралі «Київ–Варшава»). *Вісник Дніпропетровського ун-ту. Сер.: Біологія, Екологія*. 2008. Вип. 16. Т. 2. С. 24–28.
21. 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.
22. Гупал В.В., Чорнявська І.Р. Вміст важких металів у ґрунтах захисних лісових насаджень приазіничної території. *Вісник Полтавської державної аграрної академії. Сільське господарство. Екологія*. 2018. № 4. С. 123–130.
23. Забруднення ґрунтів важкими металами та пестицидами. URL: <https://kegt.rshu.edu.ua/images/dustan/ORZR4.pdf>

REFERENCES

1. Shepeliuk, M.O. (2019). Vyznachennia vmistu vazhkykh metaliv u gruntakh riznykh ekolohichnykh zon mista Lutsk [Determination of the content of heavy metals in the soils of different ecological zones of the city of Lutsk]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk – Taurian Scientific Bulletin*, 107, 317–321 [in Ukrainian].
2. Floria, L.V. (2013). Otsinka rivnia zabrudnennia hruntiv vazhkykh metalamy ta yikh vplyv na urozhainist silskohospodarskykh kultur u pivnichnozakhidnomu Prychornomorі [Assessment of the level of soil contamination by heavy metals and their impact on the yield of agricultural crops in the northwestern Black Sea region]. *Visnyk Odeskoho derzhavnogo ekolohichnoho universytetu – Bulletin of Odessa State Ecological University*, 13, 131–141 [in Ukrainian].
3. Korsun, S.H., Klymenko, I.I., Bolokhovska, V.A. & Bolokhovskiy, V.V. (2019). Translokatsiia vazhkykh metaliv u systemi «grunt–roslyna» za vapnuvannia ta vplyvu biolohichnykh preparativ [Translocation of heavy metals in the "soil–plant" system due to liming and the influence of biological preparations]. *Ahroekolohichniy zhurnal – Agroecological journal*, 1, 29–35. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2019.163245> [in Ukrainian].
4. Tkachuk, O.P., Shkatula, Yu.M. & Titarenko, O.M. (2020). *Silskohospodarska ekolohiia: navchalnyi posibnyk [Agricultural ecology: textbook]*. Vinnytsia [in Ukrainian].
5. Pashchenko, Ya.V. (1988). Buferni vlastyivosti hruntiv Polissia riznoho henezysu shchodo vazhkykh metaliv [Buffer properties of Polissia soils of various genesis with regard to heavy metals]. *Ahrokhimiia i hruntoznavstvo: mizhvidomchyi tematychnyi zbirnyk – Agrochemistry and soil science: interdepartmental thematic collection, spetsyypusk*, 77–78 [in Ukrainian].
6. Denisov, N., Averin, D., Yushchuk, A. et al. (2017). *Otsinka ekolohichnoi shkody ta priorytety vidnovlennia dovkillia na shkodi Ukrainy [Environmental damage assessment and environmental restoration priorities in eastern Ukraine]*. Kyiv [in Ukrainian].
7. Vidosavljevic, D. et al. (2013). Soil contamination as a possible long-term consequence of war in Croatia. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science*, 63, 4, 322–329. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09064710.2013.777093> [in English].
8. Berhe, A. (2006). The contribution of landmines to land degradation. *Land Degradation and Development*, 18 (1), 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.754> [in English].
9. Sadiq, M., Althagafi, K.M. & Mian, A.A. (1992). Preliminary Evaluation of Metal Contamination of Soils from the Gulf War Activities. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 49, 633–639 [in English].
10. Tomic, N.T. et al. (2018). Examining the Effects of the Destroying Ammunition, Mines and Explosive Devices on the Presence of Heavy Metals in Soil of Open Detonation Pit: Part 1 – Pseudo-total Concentration. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229, 301. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3957-0> [in English].
11. Tomic, N.T. et al. (2018). Examining the Effects of the Destroying Ammunition, Mines and Explosive Devices on the Presence of Heavy Metals in Soil of Open Detonation Pit; Part 2: Determination of Heavy Metal Fractions. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229, 303. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3950-7> [in English].
12. Broomandi, P., Dabir, B., Bonakdarpour, B. & Rashidi, Y. (2017). Identification of dust storm origin in South – West of Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 15, 16. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40201-017-0280-4> [in English].
13. Denton, G.R.W. et al. (2016). Impact of WWII dumpsites on Saipan (CNMI): heavy metal status of soils and sediments. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 11339–11348. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6603-7> [in English].
14. Bausinger, T., Bonnaire, E. & Preuss, J. (2007). Exposure assessment of a burning ground for chemical ammunition on the Great War battlefields of Verdun. *Sci Total Environ*, 382, 259–271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.04.029> [in English].
15. Kravchenko, O., Vasyliuk, O., Voitsikhovska, A. & Norenko, K. (2014). Doslidzhennia vplyvu viiskovykh dii na dovkillia na shkodi Ukrainy [Investigation of the impact of hostilities on the environment in eastern Ukraine]. *Shkid – East*, 2, 118–123 [in Ukrainian].
16. Lisova, N. (2017). Vplyv viiskovykh dii v Ukraini na ekolohichniy stan terytorii [The influence of hostilities in Ukraine on the ecological status of the territory]. *Proceedings – Naukovi zapysky*, 2, 165–173 [in Ukrainian].
17. Yakist ґрунту. Vyznachennia kadmiiu, khromu, kobaltu, kuprumu, plumbumu, manhanu, nikeliu ta

- tsynku v ekstrakti, otrzymanomu pislia obroblennia gruntu «tsarskoïu vodkoïu». Metody polumenevoi ta elektrotermichnoi atomno-absorbtsiinoi spektrometrii (ISO 11047:1998, IDT) [Soil quality. Determination of cadmium, chromium, cobalt, cuprum, plumbum, manganese, nickel and zinc in the extract obtained after the soil is treated with a «royal waters». Methods of semi-and-electrothermal atomic-absorption spectrometry (ISO 11047: 1998, IDT)]. (2007). *DSTU ISO 11047:2005 from 01st January 2008*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
18. Pro zatverdzhennia normatyviv hranychno dopusty-mykh 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). *Uriadovyi kurier – Government courier*, 243 [in Ukrainian].
 19. Dospekhov, B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy) [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]*. Moskva [in Russian].
 20. Voloshchynska, S.S. (2008). Bioindykatsiia stanu zabrudnennia dovkillia vazhkymy metalamy (na prykladi avtomahistrali «Kyiv–Varshava» [Bioindication of the state of environmental pollution by heavy metals (on the example of the Kyiv–Warsaw highway)]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Seriya: Biologhiia, Ekologhiia – Bulletin of the Dnipropetrovsk University. Series: Biology, Ecology*, 6, 2, 24–28 [in Ukrainian].
 21. Okhrana pryrody. Pochvy. Klasyfikatsiia khymy-cheskykh veshchestv dlia kontroliia zahriaznennia [Nature protection. Soils Classification of chemical substances for pollution control]. (1984). *GOST 17.4.02-84 from 1st January 1985*. Moskva: Yzdatel'stvo standartov [in Russian].
 22. Hupal, V.V. & Chorniavska, I.R. (2018). Vmist vazhkykh metaliv u gruntakh zakhysnykh lisovykh nasadzhen pryزالiznychnoi terytorii [The content of heavy metals in the soils of protective forest plantations of the railway territory]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii. Silske hospodarstvo. Ekologhiia – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy. Agriculture. Ecology*, 4, 123–130 [in Ukrainian].
 23. Zabrudnennia gruntiv vazhkymy metalamy ta pestytsydamy [Soil pollution with heavy metals and pesticides]. (nd.). URL: <https://kegt.rshu.edu.ua/images/dustan/ORZR4.pdf> [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 20.08.2022

КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ, ЩО СПРИЧИНЯЮТЬ ДЕГРАДАЦІЮ ЗЕМЕЛЬНИХ УГІДЬ

Ю.О. Зайцев¹, В.І. Собко², В.Л. Кожевнікова²,
О.П. Лобанова², А.М. Кирильчук¹

¹ Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України» (м. Київ, Україна)
e-mail: info@iogu.gov.ua; ORCID: 0000-0001-8368-8127
e-mail: angela.kyrylchuk@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3948-5810

² Хмельницька філія ДУ «Держґрунтоохорона» (м. Кам'янець-Подільський, Україна)
e-mail: obl-rod@ukr.net; ORCID: 0000-0002-8230-2904
e-mail: obl-rod@ukr.net;
e-mail: lobanovaoksanochka@gmail.com; ORCID: 0000-0002-7900-0307

Висвітлено про сучасний стан агроландшафтів, що характеризується значним збільшенням площі еродованої ріллі, яка становить близько 11 млн га, та еродованих сільськогосподарських угідь — понад 13 млн га (32,0% загальної їх площі). Сучасні земельно-орендні відносини не сприяють впровадженню заходів з охорони та підвищення родючості ґрунтів і негативно позначилися на їх родючості. У процесі використання ґрунтового покриву ігноруються потреби й вимоги екобалансу, в результаті чого сільськогосподарські угіддя виснажливо експлуатуються. Ґрунти втрачають значну частину гумусу і такі тенденції продовжуються. Найбільше деградаційні процеси спостерігаються в ґрунтах, де порушувалась агротехніка, здійснювалась необґрунтована зміна гідрологічного режиму території зрошувальними і осушувальними меліораціями, відбувалося забруднення агрохімікатами й промисловими викидами, що зумовило до виведення з активного сільськогосподарського використання значні площі продуктивних земель. Встановлено, що процес забруднення проявляється неоднаково і залежить від видів шкідливих речовин, їх концентрації у ґрунтовому середовищі й токсичності, від природних властивостей, ознак ґрунтового покриву. Запропоновано придатність ґрунтів забруднених земель, що має відображати природні й набуті з часом властивості їх якісного стану. Поєднання цих властивостей можливе на основі встановлення на ґрунтових картах меж забруднених земель. Це дасть змогу визначити площу, склад агровиробничих груп і характеристики природного стану забруднених ґрунтів, вміст гумусу, глибину гумусових профілів, гранулометричний склад та ін. Встановлені процеси, які спричиняють різні види деградації, потребують подальшого опрацювання параметрів показників кризових явищ. У класифікації процесів, що зумовлюють деградацію земель сільськогосподарського призначення, необхідно звернути увагу на господарську діяльність, яка призводить до деградації ґрунтів та віддзеркалюється у динаміці структури посівних площ; розповсюдження фітовірусів різних таксономічних груп у сільськогосподарських рослинах, бур'янах, дикорослих рослинах та ґрунті різних екологічних регіонів України; поводження з відходами I–IV класів небезпеки.

Ключові слова: сільськогосподарські угіддя, господарська діяльність, деградовані і малопродуктивні землі, розораність, еколого-безпечний агроландшафт.

ВСТУП

Земля є одним із головних ресурсів життєдіяльності суспільства. Вона слугує територіальною основою для усіх видів діяльності людини, є виробничим фактором багатьох галузей. В умовах земельної реформи, яка наразі має глобальний маш-

таб та значення, земля розглядається як один із головних інструментів подолання бідності, підвищення рівня життя кожного члена суспільства, та громад загалом [1].

Земельний фонд України характеризується двома протилежними критеріями, а саме — в його ґрунтовому покриві переважають родючі чорноземні ґрунти, разом із тим, процеси деградації ґрунтів

охоплюють практично всю територію країни. Серед чинників, що зумовлюють деградацію ґрунтів, найважливішими є ті, що пов'язані з використанням земель. Надмірне антропогенне навантаження на земельні угіддя спричиняє активізацію цілої низки негативних процесів. Серед них особливої сили набули ерозійні. До цього призвело нехтування екологічною придатністю земельних ресурсів до вирощування певних сільськогосподарських культур, а саме необґрунтоване збільшення площ таких культур, як соняшник, ріпак, кукурудза на зерно та інших просяних культур. Втрати від ерозійних процесів вимірюються сотнями мільйонів гривень на рік. Окрім того, значно погіршується стан агроландшафтів за рахунок знищення найродючіших шарів ґрунту, його найважливішої складової — гумусу [2].

Метою роботи було обґрунтувати та класифікувати процеси, що зумовлюють деградацію земельних ресурсів, сформулювати системи заходів локалізації та ліквідації деградаційних процесів для забезпечення створення еколого-безпечних агроландшафтів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблема деградації ґрунтів хвилювала фахівців задовго до 80-х років минулого століття. У другій половині XIX ст. у своїй праці «Наші степи колись і тепер» В. Докучаєв, стурбований станом земель, заклав сучасні наукові засади генези й еволюції ґрунтових екосистем та розробив рекомендації щодо збереження чорноземів, які не втратили актуальності й дотепер. На початку XX ст. М. Вавилов написав серію нарисів з історії світового землеробства, де наголошував на досягненнях і на втратах на цьому шляху.

На початку XIX ст. Т. Мальтус та А. Тюрго, з огляду на залежність від невпинного зростання населення, освоєння нових орних площ та інтенсивної експлуатації наявних, сформулювали «закон втрати родючості землі», згідно з яким, незважаючи на внесення органічних і мінеральних добрив

та меліорацію, родючість ґрунтів із часом знижується, а заходи щодо відновлення врожайності сільськогосподарських культур на цих землях стають економічно не вигідними. Радянська ідеологія цей закон не визнавала, а окремі вчені й досі його не визнають, вважаючи, що родючість ґрунтів можна підтримувати як завгодно довго. Як аргумент на користь цього погляду в літературі наведено такі дані: у чорноземах міститься стільки азоту і фосфору, скільки необхідно для отримання середнього врожаю пшениці впродовж 250 років, а калію — впродовж 3000 років [3; 4].

Критики теорії втраченої родючості земель пояснюють випадки деградації ґрунтів невмінням агрономів проводити ефективні меліоративні роботи, зокрема організаційні, господарські й технічні заходи, спрямовані на відновлення й докорінне поліпшення стану ґрунтів. Вони переконані, що за умови науково обґрунтованого механічного оброблення ґрунту, своєчасного внесення необхідної кількості органічних і мінеральних добрив та забезпечення оптимального повітряно-водного режиму можливі нейтралізація шкідливих хімічних та біологічних домішок і підтримання родючості ґрунту впродовж віків. Так, починаючи з середини XX ст., нехтування наукою, нерациональні, недалекоглядні та поспішні рішення, призвели до враження майже 60% земель водно-вітровою ерозією, зменшення вмісту гумусу вдвічі, засолення та підтоплення третини ґрунтів [5].

Ще понад чотири десятиліття тому А. Йенсен застерігав про можливі негативні наслідки від упровадження на старих засадах інтенсивних технологій землеробства в традиційне сільське господарство [6].

У роботі В. Багнока, Я. Дідуха, Г. Цивінського відзначено, що з початку землеробської діяльності людства вміст гумусу в ґрунтах зменшився в середньому від 2200 до 1700 гігатонн (Гт) вуглецю [7].

Серед більшості населення продовжує поширюватися міф про «самовідновлення» та «нескінченну родючість» українських ґрунтів. Однак, щоб переконатися в зворотному досить подивитися на результати

агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення впродовж останніх 7 турів (1986–2020 рр.) уміст гумусу в ґрунтах України зменшився на 0,29% в абсолютних величинах і становить 3,07%. У розрізі ґрунтово-кліматичних зон найменший вміст гумусу спостерігається в зоні Полісся (2,43%), у лісостеповій зоні цей показник становить – 3,20% та степовій – 3,31%. У розрізі областей вміст гумусу варіює від 1,54% (Волинська обл.) до 4,3% (Харківська обл.).

Головною причиною виникнення деградації ґрунтів в Україні є надмірний рівень меліорації (освоєння) земель, дефіцитний баланс біогенних елементів, низький рівень технологій і недостатня захищеність ґрунтів агролісомеліоративними заходами. Численні негаразди з ґрунтами є наслідком порушення рівноваги в природі, надмірної розораності, знищення лісів і лугов. За дослідженнями науковців, 30–40% території потрібно підтримувати в не порушеному природному стані [3].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Наукові дослідження здійснені з використанням методів: монографічного (опрацювання наукових публікацій, нормативних документів із питань деградації земель); абстрактно-логічного (теоретичні узагальнення, встановлення причинно-наслідкових зв'язків і формулювання висновків та пропозицій); системного (дослідження сутності та змісту структурних складових системи сталого землекористування).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Сучасний стан агроландшафтів характеризується значним збільшенням площі еродованої ріллі, яка становить близько 11 млн га, а еродованих сільськогосподарських угідь – понад 13 млн га, або близько 32,0% загальної їх площі. Дефляційно небезпечні сільськогосподарські угіддя становлять понад 19 млн га (46,0% усієї площі). Однак деградація агроландшафтів

не обмежується тільки цими процесами. Практично повсюдним є спричинене незбалансованим внесенням і виносом органіки, зниження вмісту гумусу в ґрунтах, погіршення його фізичних та фізико-хімічних властивостей. Значно зростають площі кислих, засолених, осолонцюватих ґрунтів, що також є наслідком нераціонального використання земель [8].

Серед ключових чинників, що зумовлює дестабілізацію екологічного стану довкілля, є надмірна сільськогосподарська освоєність і розораність території, які були наслідком екстенсивного ведення сільськогосподарського виробництва, недотримання екологічних вимог землекористування, що призвело до погіршення екологічної ситуації не тільки в сільському господарстві, а в Україні загалом. Так, розораність земель досягає у середньому понад 54,0%, а в деяких областях: Вінницькій, Запорізькій, Кіровоградській, Миколаївській – понад 70,0% [9].

Наразі екологічний стан території вважається незадовільним, тому є всі передумови для порушення стабільності в агрофері. Щоб зрозуміти природу руйнації ландшафтної системи, необхідно розглянути сутність і складові агроландшафту.

Природний ландшафт – це яскравий приклад самодостатньої і саморегульованої відкритої і термодинамічної системи з прямими і зворотними зв'язками між елементами, сталість, спрямованість і швидкість розвитку якої детермінуються надходженням сонячної енергії та умовами зволоження [2].

Ці принципи, системність і закономірність формування і розвитку агроландшафтів за сільськогосподарської освоєності території порушуються.

Одним із основоположних чинників, які спричиняють дестабілізацію агроландшафту, є його складова – рілля. Остання за відсутності природної рослинності найбільше поглинає сонячну радіацію, що призводить до погіршення агрегуючої здатності гумусу. Влітку, у безхмарний день відкритий ґрунт може нагріватися до 80°C і навіть вище. Цей процес зумовлює до значного підви-

шення температури повітря, що може негативно вплинути на мікроклімат. Отже, це явище має, безумовно, і регіональний характер. На думку Булигіна С.Ю., збільшення кількості проявів посух і посушливості клімату в Україні, а також і в інших країнах спричинюється цими факторами [2].

З огляду на ці міркування, для локалізації руйнівних процесів агроландшафтів необхідно змінювати структурування земельних угідь і передусім сільськогосподарських.

Питання щодо надмірної розораності території України є наразі актуальним, оскільки екологічні наслідки цього явища доволі відомі. Серед науковців існують різні думки щодо рівня розораності. За даними багатьох учених, у більшості розвинених країн площа ріллі не перевищує 20–35% від загальної території. В той самий час у малорозвинених країнах цей показник дорівнює 45–55%, частка ріллі при цьому у складі сільськогосподарських угідь сягає 60–80%. Разом із тим, необхідно зазначити, що матеріали з цього питання мають суперечливий характер і не обґрунтовані належним чином.

Вказані процеси, що відбуваються в сільськогосподарському землекористуванні, зумовлюються суспільними відносинами, а розвиток деградаційних процесів є відповідною їх складовою. Вони формуються залежно від статусу землі як земної поверхні, яка є об'єктом вивчення з погляду її участі у виробничій діяльності, а сільськогосподарські угіддя як її частка, конкретніше — верхній шар, тобто ґрунтовий покрив із геоморфологічними особливостями — об'єкт оцінки відносно виробництва продукції рослинництва. Як один із основних компонентів природного середовища, вірніше екосфери, ґрунтовий покрив функціонує під взаємною дією клімату, геологічних процесів, геоморфологічних елементів, рослинності та діяльності людини. В ґрунті акумулюються позитивні результати й негативні наслідки дії вказаних факторів.

Відомо, що земля у сільськогосподарському виробництві виконує роль опера-

ційного базису та предмету праці з продуктивністю, яку їй надає специфічна властивість — родючість ґрунту. Завдяки родючості, визначено, що земля, безсумнівно, — основний засіб виробництва в сільському господарстві.

Родючість ґрунтів великою мірою впливає на облік і використання земель у сільському господарстві. Для цієї галузі важливо мати найповнішу характеристику земель за площею й видами угідь, якісними відмінностями території, особливо ґрунтового покриву, екологічного стану навколишнього середовища і, безперечно, за економічними показниками використання сільськогосподарських угідь.

Інформація про стан використання земель, облік площі та якості земельного фонду, усіх власників і землекористувачів, а також про земельні угіддя, належність їх окремим особам або організаціям зосереджена в Державному земельному кадастрі, де також містяться показники бонітування ґрунтів, економічної і грошової оцінки земель.

Сьогодні визначає гостру потребу в інформації, що характеризує окремі складові навколишнього середовища і необхідна для впровадження еколого-безпечних систем землекористування.

Вивчення земельних ресурсів слід розглядати за двома системами об'єктивних показників: характеристик природних властивостей і ознак ґрунтів, які є результатами їх вивчення як природного середовища, й показників, що відображають агробіологічні вимоги сільськогосподарських культур до ґрунту — місця виростання рослин. До того ж, розглядається ланка «ґрунт – рослина» і показники агробіологічних ознак та вимог до ґрунту виступають індикаторами його якості. Тобто йдеться про якість ґрунту відповідно до тієї чи іншої сільськогосподарської культури, кожна з яких має свої особливості. Є підстави розглядати визначені якості ґрунтів стосовно потреб сільськогосподарських культур як встановлення агроекологічного ступеня їх придатності. При цьому, за основу придатності беруться ті самі ознаки й властивості

ґрунтів, які безпосередньо характеризують їх, але еталоном добротності є вимоги рослин [9].

Наразі в науковій літературі розглядаються два напрями. Перший — якість ґрунту визначають за його властивостями та ознаками; другий — за врожайністю сільськогосподарських культур. Якщо розглянути напрями з вищенаведеної послідовності, може сформуватися враження, що вони не суперечать один одному, оскільки відображають різні грані об'єкта вивчення, маючи у своїй основі різні категорії: в першому випадку — характеристики й ознаки ґрунтів, у другому — врожайність сільськогосподарських культур, тобто їх продуктивність. Разом із тим, слід зауважити, що врожайність поєднує в собі вплив кількох чинників, серед яких вагомим є антропогенна діяльність.

Слід зазначити, що визначити добротність ґрунтів або, якщо узагальнено, — ґрунтового покриву як природного тіла можна тільки за його властивостями й ознаками. Це — вміст гумусу, глибина гумусового горизонту, гранулометричний склад, змитість, засолення, кислотність та інші, тобто ті властивості й ознаки, які вивчені, аналітично встановлені та закартографовані й мають кількісні характеристики. Найкращим є ґрунт, найбагатший на біологічну і біохімічну перетворену органічну речовину (гумус) із оптимальними характеристиками інших властивостей та ознак.

Для встановлення ступеня якості ґрунтів зазначені характеристики зіставляються із показниками, які відображають вимоги кожної сільськогосподарської культури до ґрунтового середовища. У такому разі найкращі ті ґрунти, які за своєю якістю відповідають агробіологічним особливостям сільськогосподарських культур. Однак поняття «земля», як об'єктивна категорія, має у своєму складі, крім показників, й інше — місцезнаходження у ландшафті, в т. ч. характер, крутість схилу, його протяжність тощо, а якщо стверджувати про сільськогосподарські угіддя, то й ступінь інтенсивності використання.

Отже, у контексті основних засад визначення придатності орних земель для сільськогосподарського використання стає необхідним розглядати деякі питання щодо використання забруднених ділянок сільськогосподарських угідь. Наявність забруднення є сучасним невід'ємним компонентом визначення екологічного стану земної поверхні, в тому числі сільськогосподарських угідь. Це стосується земельних ділянок, забруднених радіоактивними викидами ЧАЕС та інших АЕС, а також прилеглих до промислових підприємств (металургійні, хімічні, цементні тощо), шосе і залізниць відповідних комплексів, ділянок із надмірним застосуванням пестицидів, мінеральних і органічних добрив.

На жаль, нині не картографовані забруднені земельні ділянки залежно від джерел забруднення. Тому відсутня інформація, яка б характеризувала їх ареали, види і ступінь забруднення.

Важливіше на сьогодні, хоча б певною мірою, сформувані основні підходи щодо класифікації процесів, що спричиняють деградацію земельних ресурсів, у тому числі й забруднення.

Шкідливі речовини потрапляють у ґрунт різними шляхами: з атмосферними опадами, поступовим нашаруванням на земній поверхні з мінеральними (а також і органічними) добривами й пестицидами безпосередньо в ґрунтове середовище (товщу), з поверхневими водами та іншими шляхами. Процес забруднення проявляється неоднаково і залежить як від видів шкідливих речовин, їх концентрації у ґрунтовому середовищі й токсичності, так і від природних властивостей, ознак ґрунтового покриву. Ось чому придатність ґрунтів забруднених земель, безперечно, має відображати і природні й набуті з часом властивості їх якісного стану. Поєднання їх можливе на основі встановлення на ґрунтових картах меж забруднених земель. Це дасть змогу визначити площу, склад агропромислових груп і характеристики природного стану забруднених ґрунтів, такі як вміст гумусу, глибина гумусових профілів, гранулометричний склад та ін. [10].

Необхідно зазначити, що деградовані (в т. ч. забруднені) та малопродуктивні землі не завжди розглядаються як самостійні, незалежні утворення, а об'єднуються в єдине поняття. Разом із тим, ці питання, маючи повну спільність, щодо характеристики продуктивної спроможності, необхідно розглядати відокремлено одне від одного. Деградованість ґрунтів спричинена переважно антропогенними факторами, а низька родючість пов'язана з їх природними властивостями.

Таким чином, орієнтовно існує три підходи до класифікації процесів деградації ґрунтового покриву (за ознаками виявлення; характером трансформації властивостей ґрунту; наслідками вияву). За побудови схеми класифікації процесів деградації ґрунтового покриву не дотримуються встановлення при кожному з них відповідних характеристик. Так, якщо при першому підході (за ознаками виявлення) розкриваються морфологічні ознаки — зміна будови та структури ґрунтового профі-

лю і функціональні — зміна властивостей та режиму ґрунту, то в другому і третьому підходах тільки перераховуються складові (відповідно фізико-хімічно-мінералогічні, водно-повітряно-фізичні, біологічні; антропогенні, дегуміфікація, фізико-хімічні деградації, агрофізична деградація, ерозійна деградація, біологічна деградація, забруднення продуктами техногенезу, руйнування ґрунтового покриву при геолого-розвідувальних роботах та видобуванні корисних копалин). Як видно із вказаної схеми, відсутні конкретні кількісні показники руйнівних процесів. Отже, така класифікація буде малоприматна за виробничого впровадження в практику землекористування [2; 9].

Деградація ґрунтів має свої особливості, спричинені різними факторами процесів (табл. 1).

Наукові підходи щодо віднесення сільськогосподарських угідь до деградованих, малопродуктивних і техногенно забруднених земель на основі встановлених проце-

Таблиця 1. Класифікація процесів, що спричиняють деградацію ґрунтів

| Види деградації | Сутність процесів деградації ґрунтів | Назва процесу деградації |
|-------------------|--|--------------------------------|
| 1. Механічні | Порушення цілісності ґрунтового покриву, зменшення глибини гумусового шару аж до повного знищення ґрунту і порушення ґрунтоутворювальних і підстилаючих порід (дефльовані, змиті й розмиті ґрунти, виходи порід). | Водно-вітрові ерозійні процеси |
| 2. Фізичні | Порушення структури ґрунту, переущільнення кореневмісного шару, що викликано недосконалою технологією обробітку ґрунту, погіршення водно-фізичних властивостей, зниження фільтрувальної здатності та шаруватості і аерації, утворення ущільнених прошарків. | Фізична деградація |
| 3. Хімічні | Зміна характерного для даної ґрунтової відміни якісного й кількісного складу хімічних речовин через необґрунтоване внесення мінеральних добрив, меліорантів, пестицидів, а також техногенні викиди; дегуміфікація, тобто зменшення вмісту гумусу через незбалансованість внесення органічних добрив. | Хімічна деградація |
| 4. Фізико-хімічні | Зміна в реакції ґрунтового середовища (підкислення або підлуження), ємкості вбирання, кількісному та якісному складі увібраних основ. | Фізико-хімічна деградація |
| 5. Біологічні | Забруднення вірусами, патогенною мікрофлорою і гельмінтами, тобто показниками фітосанітарного стану ґрунтів. | Біологічна деградація |

| Види деградації | Сутність процесів деградації ґрунтів | Назва процесу деградації |
|---|--|---------------------------------|
| 6. Забруднення радіонуклідами | Спостерігається, в основному, у Поліській зоні. На цей час залишилися «довгоживучі» радіонукліди: ^{137}Cs — з періодом напіврозпаду 28 років і ^{90}Sr — 300 років. Критерієм радіоактивного забруднення території є радіаційний фон, який вираховується в Кі/км ² . | Радіаційне забруднення |
| 7. Гідромеліоративні | Підтоплення, заболочення, підкислення, засолення, осолонцювання, «спрацювання» торфового шару, заліснення, гідрофобізація органогенних ґрунтів, переосушення легких мінеральних ґрунтів, які знаходяться в зоні впливу осушувальних систем. | Гідромеліоративна деградація |
| 8. Забруднення побутовими відходами | Сміттєзвалища. | Забруднені землі |
| 9. Руйнування ґрунтового покриву при геолого-розвідувальних роботах, видобуванні корисних копалин та будівництві трубопроводного транспорту | У зонах тимчасового відведення для будівництва. | Порушені землі |
| 10. Техногенно небезпечні процеси | У захисних зонах навколо цивільних і військових аеродромів (понад 50 децибел); в полосах відводу для ЛЕП з напругою 330 кВт і більше. | Техногенно небезпечні землі |
| 11. «Малопродуктивність» | До категорії «малородючі» належать ґрунти з незадовільними природними властивостями, у зв'язку з цим — низькою родючістю, на яких отримання урожаю не компенсує затрачених ресурсів (засолені, солонцеві, сильно глейові, малорозвинені, скелетні, надто легкі, або навпаки — дуже важкі за гранулометричним складом ґрунти). Раніше ці ґрунти необґрунтовано були залучені до сільськогосподарського використання, в т. ч. у ріллю. Подальше їх землеробське використання економічно неефективне, а в екологічному відношенні, в окремих випадках, навіть шкідливе. | Малопродуктивні земельні угіддя |

Примітка: сформовано на основі [2; 9].

сів, які спричиняють різні види деградації, потребує подальшого опрацювання параметрів показників кризових явищ.

Разом із тим, є визначені критерії за деякими видами деградації, які мають свої

особливості, зумовлені різними факторами та процесами, що дає можливість поділяти їх за переважаючими ознаками (табл. 2).

Визначені критерії не є постійними, адже в подальшому вони можуть уточню-

Таблиця 2. Критерії віднесення сільськогосподарських угідь до деградованих, малопродуктивних і забруднених земель, що потребують науково обґрунтованого їх подальшого використання

| Властивості й ознаки ґрунтів | Одиниці виміру | Показники ґрунтових властивостей, що зумовлюють необхідність науково обґрунтованого подальшого використання земель (з урахуванням зонального місцезонального положення) |
|---|---|--|
| 1. Еродованість (змитість та дефльованість) | Ступінь еродованості ґрунтів (середньо, сильно) | <ul style="list-style-type: none"> Розмиті, середньо- та сильнозмиті, середньо- та сильно дефльовані |
| 2. Скелетність | Вміст уламків гірських порід розміром понад 3 мм, % | <ul style="list-style-type: none"> >20% від об'єму (в 30-ти сантиметровому шарі ґрунту) |
| 3. Легкий гранулометричний склад | Вміст фізичної глини (часток діаметром менше 0,01 мм, %) | <ul style="list-style-type: none"> Зона Полісся – до 5 Зона Лісостепу – до 10 Степові зони і південні райони Лісостепу (окрім західної) – до 20 |
| 4. Важкий гранулометричний склад | Вміст фізичної глини (часток діаметром менше 0,01 мм, %) | <ul style="list-style-type: none"> На Прикарпатті – понад 50 У решті зон, провінцій на лесових породах – понад 75 |
| 5. Гумусованість | Вміст гумусу, % від маси гумусу | <ul style="list-style-type: none"> На Поліссі – менше 0,6 У Лісостепу – менше 1,5 У Степу – менше 2,0 |
| 6. Реакція ґрунтового розчину | pH | <ul style="list-style-type: none"> В усіх зонах: до 4,0 понад 8,0 (від 4,0 до 8,0) |
| 7. Вміст рухомого алюмінію | Мг-екв на 100 г ґрунту | <ul style="list-style-type: none"> Понад 3,0 |
| 8. Вміст увібраного натрію | % від суми увібраних основ | <ul style="list-style-type: none"> Для автоморфних ґрунтів – понад 5 Для напівгідроморфних і гідроморфних ґрунтів – понад 10 |
| 9. Засолення | Відсотків від маси ґрунту в перерахунку на токсичні солі, % | <ul style="list-style-type: none"> Понад 0,4 |
| 10. Карбонатність | Вміст карбонату від маси ґрунту | <ul style="list-style-type: none"> CaCO₃ – понад 30 |
| 11. Фізична деградація | Об'ємна маса, г/см ³ | <ul style="list-style-type: none"> Для суглинистих ґрунтів |
| 12. Хімічне забруднення | Гранично допустима концентрація (ГДК) | <ul style="list-style-type: none"> Перевищення ГДК |
| 13. Радіаційне забруднення | Щільність забруднення місцевості Цезієм-137, Стронцієм-90, Ки/км ² | <ul style="list-style-type: none"> ¹³⁷Cs – понад 15 Ки/км² для мінеральних ґрунтів і 5 Ки/км² для органічних; ⁹⁰Sr – понад 3 Ки/км² |

Примітка: сформовано на основі [9; 11].

ВИСНОВКИ

ватися в зв'язку з розвитком технологій, змінами у ґрунтовому покриві, рельєфних умов, погодно-кліматичних факторів тощо.

Обґрунтовуючи класифікацію процесів, що зумовлюють деградацію земель сільськогосподарського призначення, необхідно особливо зазначити на такі надзвичайні чинники сьогодення, які мало беруться до уваги в суспільстві, а саме:

- господарська діяльність, що призводить до деградації ґрунтів і яка відзеркалюється у динаміці структури посівних площ;
- розповсюдження фітовірусів різних таксономічних груп у сільськогосподарських рослинах, бур'янах, дикорослих рослинах та ґрунті різних екологічних регіонів України; поводження з відходами I–IV класів небезпеки.

Обґрунтована класифікація процесів, що зумовлюють деградацію земельних ресурсів, потребує формування системи заходів щодо локалізації та ліквідації деградаційних процесів та на цій основі забезпечення створення еколого-безпечних агроландшафтів і сприятливого навколишнього середовища; визначені критерії віднесення сільськогосподарських угідь до деградованих, малопродуктивних і забруднених земель, що потребують подальшого науково обґрунтованого використання, слугуватимуть інформаційною базою щодо створення відповідних організаційних, екологічних і економічних механізмів регулювання раціоналізації природокористування та досягнення еколого-економічної збалансованості, функціонування суспільного виробництва, якісного стану довкілля й здорового життєдіяльного середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стан навколишнього природного середовища Хмельницької області у 2014 році. Хмельницький, 2015. 132 с.
2. Булигін С.Ю. Формування екологічно сталих агроландшафтів. Київ: Урожай, 2005. 442 с.
3. Позняк С.П., Гавриш Н.С. Соціальне ґрунтознавство: навч. посіб. Львів, 2021. 240 с.
4. Ситник К., Багнюк В. Стан ґрунтів і майбутнє людства. *Вісник національної академії наук України*. 2008. № 8. С. 3–27.
5. Багнюк В.М., Миронюк В.І., Подорванов В.В., Сиднев Ю.П. Особливості взаємодії золів металів з мікрободоростями *Chlorella vulgaris* Beiyer. та *Dunaliella salina* Teod. *Доповіді НАН України. Сер.: Біологія*. 1997. № 11. С.155–159.
6. Jansen A.G. Agro-ecosystems in future society. *Agro-Ecosystems*. 1974. № 1. P. 69–80.
7. Багнюк В., Мовчан Я., Цивинський Г. Водно-меліоративні реалії України. *Вісник НАН України*. 2002. №12. С. 33–44.
8. Фурдичко О.І. Агроекологія: моногр. Київ: Аграрна наука, 2014. 400 с.
9. Кузін Н.В., Добряк Д.С. Удосконалення класифікації процесів, що спричинюють деградацію земельних угідь. *Збалансоване природокористування*. 2016. № 1. С. 106–112.
10. Добряк Д.С., Кузін Н.В. Еколого-економічний механізм реабілітації деградованих і малопродуктивних земель сільськогосподарського призначення. *Економіка АПК*. 2016. № 9 (263). С.10–18.
11. Добряк Д.С., Кулініч В.В., Канаш П.П. та ін. Методичні рекомендації щодо механізму виведення з господарського обігу земель, що підлягають консервації. Київ: Урожай, 2005. 77 с.

REFERENCES

1. Khmelnytskyi regional state administration. Department of Ecology and Natural Resources (2015). *Stan navkolishnogo pryrodnoho seredovishcha Khmelnytskoi oblasti u 2014 rotsi [The state of the natural environment of the Khmelnytsky region in 2014]*. Khmelnytskyi [in Ukrainian].
2. Bulyhin, S.Yu. (2005). *Formuvannia ekolohichno stalyykh ahrolandshaftiv [Formation of ecologically sustainable agricultural landscapes]*. Kyiv [in Ukrainian].
3. Pozniak, S.P. & Havrysh, N.S. (2021). *Sotsialne gruntovnavstvo: navchalnyi posibnyk [Social soil science: a study guide]*. Lviv [in Ukrainian].
4. Sytnyk, K. & Bahniuk, V. (2008). Stan hruntiv i maibutnie liudstva [Soil condition and the future of mankind]. *Visnyk natsionalnoi akademii nauk Ukrainy – Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 8, 3–27 [in Ukrainian].
5. Bahniuk, V., Myroniuk, V., Podorvanov, V. & Sydniev, Yu. (1997). Osoblyvosti vzaiemodii zoliv metaliv z mikrovodorostiamy *Chlorella vulgaris* Beiyer. ta *Dunaliella salina* Teod [Peculiarities of interaction of metal sols with microalgae *Chlorella vulgaris* Beiyer. and *Dunaliella salina* Teod.]. *Dopovidi NAN Ukrainy. Seriya Biolohiia – Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 11, 155–159.

- ces of Ukraine. Series Biology, 11, 155–159 [in Ukrainian].*
6. Jansen, A. (1974). Agro-ecosystems in future society. *Agro-Ecosystems, 1, 69–80 [in English].*
 7. Bahniuk, V., Movchan, Ya. & Tsyvinskyi, H. (2002). Vodnomelioratyvni realii Ukrainy [Water reclamation realities of Ukraine]. *Visnyk NAN Ukrainy – Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine, 12, 33–44 [in Ukrainian].*
 8. Furdychko, O.I. (2014). *Ahroekolohiia [Agroecology].* Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
 9. Kuzin, N.V. & Dobriak, D.S. (2016). Udoskonalennia klasyfikatsii protsesiv, shcho sprychyniuiut dehradatsiiu zemelnykh uhid [Improving the classification of processes causing land degradation]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia – Balanced nature management, 1, 106–112 [in Ukrainian].*
 10. Dobriak, D.S. & Kuzin, N.V. (2016). Ekoloho-ekonomichniy mekhanizm reabilitatsii dehradovanykh i maloproduktyvnykh zemel silskohospodarskoho pryznachennia [Ecological and economic mechanism of rehabilitation of degraded and unproductive agricultural lands]. *Ekonomika APK – Economy of agro-industrial complex, 9 (263), 10–18 [in Ukrainian].*
 11. Dobriak, D.S., Kulinich, V.V., Kanash, P.P. et al. (2005). *Metodychni rekomendatsii shchodo mekhanizmu vyvedennia z hospodarskoho obihu zemel, shcho pidliahaiut konservatsii [Methodological recommendations regarding the mechanism of withdrawal from economic circulation of lands subject to conservation].* Kyiv [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 03.08.2022

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ БІОТИЧНИХ ЧИННИКІВ СЕРЕДОВИЩА НА ОРГАНІЗМ ССАВЦІВ

О.В. Мудрак¹, І.В. Слєпцова²

¹ КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти» (м. Вінниця, Україна)
e-mail: ov_mudrak@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1776-6120

² Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: inna7slyeptsova@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6838-7924

У статті розглянуто екологічне значення отрути тварин, як стресового біотичного чинника, та її роль у порушенні гомеостазу організму ссавців. Зазначено, що за оцінками вчених 220 000 видів тварин, або 15% світового біорізноманіття є отруйними, серед отруйних змій налічується 3709 видів. Збільшення випадків укусів змій пов'язане не тільки з їх географічним поширенням, але і зі змінами клімату (високою вологістю та зростанням середньорічної температури), що сприяє розмноженню змій та зміні звичного для них ареалу. Кожного року у світі близько 5,4 млн людей потерпають від укусів змій. Це призводить до важких соціальних і економічних витрат у багатьох країнах світу, що стає причиною постійної уваги до цієї проблеми. Встановлено, що на території України, серед отруйних змій, поширені лише гадюки, серед яких – два підвиди виду гадюки звичайної (*Vipera berus* Linnaeus, 1758): *Vipera b. berus*, яку можна зустріти у Поліссі, Лісостепу і Карпатах, та гадюка Нікольського (*Vipera berus nikolskii* Vedmederja Grubant et Rudaeva, 1986), яка трапляється переважно в Лівобережному Лісостепу. Їх укуси можуть бути дуже болючими, але рідко призводять до летального результату у дорослої людини. Отрута гадюки *Vipera berus* чинить протеолітичну, гемолітичну і цитотоксичну дію, що зумовлено її складом: фосфоліпаза А2, серинові протеїнази, металопротеїнази, L-оксидаза амінокислот, геморагічні фактори та інгібітори згортання крові, вазоактивні пептиди, багатий цистеїном секреторний білок. Особливо проаналізовано компонентний склад та механізми впливу отрути гадюк *Vipera b. berus* та *Vipera b. nikolskii* на організм ссавців. Компоненти отрути гадюки *Vipera b. berus* мають переважно гемотоксичну дію. Серед компонентів отрути гадюки Нікольського (*Vipera b. nikolskii*) найбільша частка належить різноманітним ферментам. З-поміж них на фосфоліпазу А2 припадає близько 65% сухої маси, на серинові протеази – 19%. Зазначено, що ще не всі мішені токсинів гадюк ідентифіковано, і не всі механізми, що лежать в основі ураження токсинами органів та систем тварин і людини, зрозумілі, тож подальші дослідження є актуальними.

Ключові слова: гадюка звичайна (*Vipera berus* Linnaeus, 1758), гадюка Нікольського (*Vipera berus nikolskii* Vedmederja Grubant et Rudaeva, 1986), отруєння, токсини, компонентний склад отрути, гомеостаз.

ВСТУП

Біотичне середовище організму створюють, як відомо, усі живі організми, які безпосередньо з ним взаємодіють, а біотичні чинники – це впливи, що проявляються внаслідок взаємозв'язків організмів у біотичному середовищі. Таким чином, біотичні чинники є сукупністю взаємовпливів організмів у процесі їх життєдіяльності [1].

Серед біотичних чинників, які впливають на гомеостаз організму ссавців, важлива роль належить токсинам отрут. Їх

виробляє в процесі своєї життєдіяльності велика кількість живих істот – тварин, рослин і мікроорганізмів, що своєю чергою, допомагає їм захопити здобич, захиститися від хижаків тощо. З іншого боку, внаслідок отруєння, вражаються основні фізіологічні системи жертви, тобто порушується гомеостаз її організму [2–5].

За оцінками вчених, 220 000 видів, як хребетних, так і безхребетних тварин, або 15% світового біорізноманіття є отруйними. Більшість видів тварин (57,5%) мають отруйних представників. Встановлено, що

токсини тварин — це складні суміші біологічно активних речовин, головним чином білків, пептидів і солей, патологічний вплив яких може порушувати життєдіяльність живих організмів і навіть спричинити їх смерть [2–3; 6–7].

З отруйних змій на території України поширені лише гадюки. Вид Гадюка звичайна — *Vipera berus* (Linnaeus, 1758) трапляється у всіх регіонах нашої держави. Герпетофауна України представлена двома з чотирьох її підвидів: номінативним підвидом *Vipera berus berus* та гадюкою Нікольського (*Vipera berus nikolskii* Vedmederja Grubant et Rudaeva, 1986) [8].

Наразі компонентний склад отрути гадюк вивчений значно краще, порівняно з рештою отруйних тварин. Однак ще не всі мішені токсинів гадюк ідентифіковано, і не всі механізми, що лежать в основі ураження токсинами органів та систем тварин і людини, зрозумілі. Ця особливість дуже важлива для ефективного лікування отруєнь, що залишається сьогодні серйозною проблемою.

З іншого боку, висока вибірковість і ефективність цих токсинів роблять їх цінними інструментами для фундаментальних досліджень. Крім того, токсини з відомими механізмами дії можуть бути джерелом для розробки ліків. Усе це свідчить про те, що вивчення механізмів дії отрути гадюк та їх токсинів є дуже складним і важливим завданням [6–7].

Тому **мета нашої роботи** — дослідити еколого-біологічні аспекти порушення гомеостазу організму ссавців в умовах дії отрути гадюк *Vipera berus berus* та *Vipera berus nikolskii*. Об'єкт дослідження — особливості пошкодження і пристосувальних змін стінки тонкої кишки ссавців (щурів) після впливу на організм тварин отрути гадюк *Vipera berus berus* та *Vipera berus nikolskii*.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Різноманіття видів отруйних тварин та їх значне поширення у світі змушує інші види організмів адаптуватися до умов співіснування з ними. Таким чином, токсини

отрути мають важливе екологічне значення, адже діють як стресорні чинники та істотно впливають на біотичну взаємодію між організмами [5; 9–10].

Наразі у світі налічується 3709 видів змій, де вважається, що 15–35% від цієї кількості становлять отруйні змії. Укуси змій є відносно поширеною подією в різних країнах і можуть спричинити загибель людей, а особливо дітей та людей похилого віку [6; 11–12].

Випадки зміїзму стають дедалі частішими. Це пов'язане не тільки з тим, що змії поширені в більшості куточків світу, але і зі змінами клімату, а саме: високою вологістю та зростанням середньорічної температури, що сприяє їх розмноженню і зміні свого звичного ареалу мешкання (оселищ) [13].

Кожного року у світі близько 5,4 млн людей потерпають від укусів змій. Це зумовлює до 2,7 млн отруєнь, майже 138 000 смертей і 400 000 випадків інвалідності або інших ускладнень. Соціальні й економічні затрати у зв'язку з цим є надзвичайними для багатьох країн світу, що стає причиною постійної уваги до цієї проблеми [6; 11–12; 14–15].

Своєю чергою, гадюки не вважаються агресивними, при зустрічі з людиною — ховаються або тікають, і кусають лише тоді, коли їх спровокували (наступили, підняли тощо). Виробництво отрути є метаболічно-затратним процесом для гадюк, тож вони використовують її для полювання на здобич, і лише у крайньому випадку для захисту. Укуси можуть бути дуже болючими, але рідко призводять до летального результату у дорослої людини [5; 11; 16].

Ареал поширення звичайної гадюки (*Vipera berus*), як найбільш розповсюдженої наземної змії на планеті, займає майже одну третину Євразійського континенту. Її можна зустріти в багатьох біотопах — районах боліт, торфовищ, у лісах, де є сонячні схили і галявини.

Вид *Vipera berus* налічує лише чотири підвиди: *V. b. berus* (Linnaeus 1758), *V. b. bosniensis* (Boettger 1889), *V. b. nikolskii* (Vedmederja, Grubant & Rudajewa 1986) та *V. b. sachalensis*.

linensis, хоч має значне поширення та істотну мінливість серед популяцій [4; 9; 16].

На території України поширені два підвиди цього виду: *Vipera b. berus*, яку можна зустріти у Поліссі, Лісостепу і Карпатах, та *Vipera b. nikolskii*, яка трапляється переважно в Лівобережному Лісостепу [8].

Змії продукують свою отруту для знеухомлення і перетравлення здобичі, зниження конкуренції, а також у якості ефективною системи захисту від загроз. Таким чином, отрута — це екологічно важлива функціональна властивість, яка використовується організмом для регулювання процесів гомеостазу іншого організму, тобто опосередковує результат взаємодії між двома або більше організмами [5; 9–10].

Загалом отрута гадюки *Vipera berus* чинить протеолітичну, гемолітичну і цитотоксичну дію, що зумовлено її складом [4]. Цей вид гадюк має важливе медичне значення, тож проводиться багато досліджень щодо вивчення токсичності, протеомного складу та активності ферментів його отрути [16–17]. Компонентний склад отрути гадюки *Vipera berus* включає такі речовини: фосфоліпазу А2, серинові протеїнази, металопротеїнази, L-оксидазу амінокислот, геморагічні фактори та інгібітори згортання крові, вазоактивні пептиди, багатий цистеїном секреторний білок [4; 16–17].

Укуси гадюк виду *Vipera berus* викликають переважно місцеві ефекти, такі як біль, набряк, геморагії, можливий місцевий некроз. Однак у більшості важких випадків, особливо у дітей, місцеві ефекти можуть бути дуже серйозними, а також можуть виникнути системні симптоми, такі як проблеми з шлунково-кишковим каналом, артеріальна гіпотензія, абдомінальні коліки, тахікардія, ангіоневротичний набряк обличчя, губ, ясен, язика, горла і надгортаника, кропив'янка і бронхоспазм. Системна кровотеча та коагулопатія після укусу гадюк виду *Vipera berus* трапляються дуже рідко [14; 16].

Серед різноманіття отруйних тварин найбільшу увагу науковців вже впродовж декількох століть привертають саме змії. Така цікавість ними зумовлена, зокрема,

особливостями складу їх отрути, біохімічними властивостями останньої й можливістю використання в фармакології і медицині. Однак, не зважаючи на щорічні масштабні дослідження щодо складу токсинів змій, особливостей їх впливу на тварин та людину, відсутні остаточні дані про повний перелік структурних компонентів і механізми їх патологічної дії. Основною причиною цього факту, як пояснюють науковці, є надзвичайно висока вартість експериментальних досліджень, пов'язаних з отриманням отруту, проведення транскриптомного і протеомного аналізів.

Оскільки окремі біоактивні компоненти отрути гадюк не є повністю вивченими, відкритим є питання їх впливу на особливості структури та функціонування різних органів і систем ураженого організму [3; 7; 10].

Тож залишаються актуальними дослідження механізмів дії отрути гадюк *Vipera b. berus* та *Vipera b. nikolskii*, а також розробка і впровадження комплексу заходів щодо зменшення негативного впливу їх отрути на організм ссавців.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Використовували загальнонаукові і спеціальні методи дослідження: гістологічні (визначення на світлооптичному рівні патоморфологічних змін стінки тонкої кишки); електронно-мікроскопічні (визначення на ультраструктурному рівні патоморфологічних змін стінки тонкої кишки); лабораторні (визначення фізико-хімічних, хімічних, біохімічних методів кількісних і якісних характеристик об'єктів дослідження); математичні (обробки отриманих даних); статистичні (встановлення на основі регресійного, дисперсійного, кореляційного методів достовірності отриманих результатів, функціональних залежностей між різними чинниками і процесами).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Впродовж всього періоду еволюції ссавців, в т. ч. і людина, тісно співіснували з

отруйними тваринами. Такий природний і невід’ємний взаємозв’язок визначався походженням, біологічною значимістю і біохімічними властивостями токсинів. Хоча на цьому етапі розвитку людина не є ні здобиччю, ні хижаком для отруйних тварин, щороку у всьому світі рееструються чисельні випадки укусів, що спричиняють високу захворюваність, смертність та є глобальною проблемою охорони здоров’я [10].

Отрута — речовина, що потрапляє в організм із зовнішнього середовища, діючи та створюючи на нього хімічний чи фізико-хімічний вплив і здатна за певних умов навіть у малих концентраціях призвести до значного порушення функціонування чи смерті. Серед великої кількості біологічно активних речовин природного походження одне з основних місць належить тваринним отрутам. Останні належать до групи сполук унікальних за хімічною природою і фізіологічною дією. Наразі завдяки зоотоксинам наявні значні досягнення в галузі молекулярної біології і нейрофізіології. Однак їх висока токсичність є причиною підвищеної уваги до них науковців з усього світу та України зокрема [5; 7; 18].

Дослідження засвідчили, що на компонентний склад отрути змій можуть впливати вік, стать, географія (ареал) поширення, вид/раціон здобичі і пора року, склад отрути також може відрізнитися у представників одного виду. Від 90 до 95% сухої маси отрути змій становлять білки, які їй відповідають за її біологічні ефекти. Деякі з цих білків проявляють ферментативну активність [3; 10].

Отрута змій містить ферменти (гіалуронідазу, фосфоліпазу А₂, нуклеотидазу, фосфодіестеразу, дезоксирибонуклеазу, рибонуклеазу, аденозинтрифосфатазу, оксидазу L-амінокислот), поліпептиди (нейротоксин, гемотоксин), білки зі спеціальними властивостями (фактор росту нервових клітин, антикомплементарний фактор). За характером дії вони можуть бути нейротоксичні і гемотоксичні [4; 6]. Нейротоксичні впливають на периферичну нервову систему та передачу збудження на скелетні м’язи.

Вивчення дії токсинів змій на проведення нервового імпульсу має велике значення, оскільки порушення цього процесу зумовлює параліч не лише скелетних, але і дихальних м’язів. Своєю чергою, гемовазотоксичні отрути стають причиною вазоконстрикції, підвищення проникності судин і як наслідок — набряку тканин й внутрішніх органів. Крововиливи та набряк таких органів, як печінка, нирки призводять до смерті [16].

Відомо, що серед основної маси компонентів отрути гадюки Нікольського *Vipera b. nikolskii* найбільша частка належить різноманітним ферментам. З усіх ензимів на фосфоліпазу А₂ припадає близько 65% сухої маси, на серинові протеази — 19%. Встановлено, що отрута гадюки Нікольського (*Vipera b. nikolskii*) відрізняється тим, що містить дві гетеродимерні фосфоліпази А₂. Вони відрізняються кінетикою каталітичного гідролізу. Механізм токсичної дії цих гетеродимерів досі не з’ясований.

Експерименти на ссавцях (мишах) демонструють, що при укусі гадюки Нікольського (*Vipera b. nikolskii*) спостерігаються як місцеві ознаки — набряк, біль, лімфангіт, так і системні — гіпотонія, легкий нейротоксичний ефект. Крім того, є дані з приводу ураження черепно-мозкових нервів і прогресуючого паралічу кінцівок [15].

Восіан А. та співавтори (2016) встановили, що компоненти отрути гадюки *Vipera berus berus* мають переважно гемотоксичну дію, що зумовлена великою різноманітністю ферментів із родини металопротеїназ, серинових протеаз, оксидаз L-амінокислот і лектиноподібних білків С-типу, призводячи до посиленого згортання крові. Відомо також, що оксидази L-амінокислот блокують нервово-м’язову передачу імпульсів і спричиняють руйнування клітинних мембран.

В отруті цієї гадюки наявні також декілька білків, що чинять нейротоксичну дію. Серед них є CRP (cysteine-rich proteins) — блокують передачу нервових імпульсів та фосфоліпаза А₂, що володіє нейро-, міо-, цито- і гемотоксичною діями. Гемотоксини в цьому випадку класифіку-

ють на чинники, що активують згортання крові, антикоагулянти, інгібітори, і активатори тромбоцитів, агенти, що викликають фібриноліз. Білки першої групи впливають на фактори згортання крові. Антикоагулянтні гемотоксини включають серинові протеази, фосфоліпазу А2, активатори протеїну С. Білки, що активують тромбоцити мають переважно лектиноподібну природу. Дезактиватори тромбоцитів представлені дезінтегринами і металопротеїназами [4; 17].

Існує також група так званих гемограїнів — цитолізину, що пошкоджують стінку судин і зумовлюють крововиливи. Важливою знахідкою науковців було те, що серед великої різноманітності білків саме лектиноподібні протеїни типу С були виявлені. В отруті цієї гадюки наявні 8 гомологів цих білків. Серед науковців вони носять назву snake proteins. Останні є гомодимерами і спричиняють аглютинацію еритроцитів.

Фосфоліпази отрути гадюки *Vipera berus berus* залежно від амінокислотного складу поділяють на кислі, основні і нейтральні. Перший і другий типи, як відомо, проявляють нейро — та мітоксичні властивості [19].

Негативні ефекти оксидази L-амінокислот зумовлено окисним стресом, що розвивається внаслідок надмірної продукції H_2O_2 при окисному дезамінуванні L-амінокислот [20].

Таким чином, компоненти отрути різних видів живих істот спричиняють надзвичай-

но широкий діапазон ефектів та симптомів в організмі жертви. При цьому ступінь вираженості патологічних змін зумовлений переважно видом отруйної тварини, загальною кількістю токсину, способом його введення і характерними особливостями реципієнта.

ВИСНОВКИ

Всебічний і різносторонній аналіз даних експериментальних досліджень дає змогу стверджувати, що склад токсинів різних видів тварин, в т. ч. гадюк, є надзвичайно різноманітним.

Науковці світу і України встановили основні ланки патогенезу впливу її компонентів на організм живих істот і людини. З великої кількості опрацьованих робіт можна зробити висновок про гемовазотоксичну і нейротоксичну дію цих отрут. Наявні також дані щодо ураження серцево-судинної, сечовидільної, дихальної, травної систем.

Зумовлюючи морфологічні зміни клітинних і тканинних структур зазначених систем організму, токсини порушують перебіг у них нормальних фізіологічних функцій і гомеостаз загалом. Тому подальші дослідження, спрямовані на виявлення нових компонентів токсинів гадюк, їх спектр ефектів на ті, чи інші структури ураженого організму та використання отриманих результатів для виготовлення протитотрут, а, отже, усунення асоційованих з укусами економічних втрат, є надзвичайно актуальними.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мудрак О.В. Екологія: навч. посіб. Вінниця: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2011. 520 с.
2. Herzig V. Animal Venoms—Curse or Cure? *Biomedicines*. 2021. Vol. 9 (4). P. 413. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines9040413>
3. Mohamed E.-A.T., Garcia S.A. and Stockand J.D. Snake Venoms in Drug Discovery: Valuable Therapeutic Tools for Life Saving. *Toxins (Basel)*. 2019. Vol. 11 (10). P. 564. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins11100564>
4. Bocian A., Urbanik M., Hus K. et al. Proteome and Peptidome of *Vipera berus berus* Venom. *Molecules*. 2016. Vol. 21 (10). P. 1398. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules21101398>
5. Schendel V., Rash L.D., Jenner R.A. and Undheim E.A.B. The Diversity of Venom: The Importance of Behavior and Venom System Morphology in Understanding Its Ecology and Evolution. *Toxins (Basel)*. 2019. Vol. 11 (11). P. 666. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins11110666>
6. Oliveira A.L., Viegas M.F., da Silva S.L. et al. The chemistry of snake venom and its medicinal potential. *Nature Reviews Chemistry*. 2022. Vol. 6 (7). P. 451–469. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41570-022-00393-7>
7. Utkin Y. Animal Venoms and Their Components: Molecular Mechanisms of Action. *Toxins (Basel)*. 2021. Vol. 13 (6). P. 415. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins13060415>

8. Мудрак О.В., Маєвський О.Є., Слєпцова І.В. Вміст молекул середньої маси в тканині кишечника щурів за дії отрути гадюк. *Збалансоване природокористування: традиції, перспективи та інновації*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 20–21 жовт. 2021 р.). Київ, 2021. С. 89–91.
9. Мудрак О.В., Маєвський О.Є., Слєпцова І.В. Вплив отрути гадюк *Vipera b. berus* та *Vipera b. nikolskii* на процеси гомеостазу організму щурів. *Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. Ч. 1 (м. Київ, 7–8 липн. 2022 р.). Київ, 2022. С. 269–271.
10. Zhang Y. Why do we study animal toxins? *Dongxi Xue Yanjiu*. 2015. Vol. 36 (4). P. 183–222. DOI: <https://doi.org/10.13918/j.issn.2095-8137.2015.4.183>
11. Pucca M.B., Knudsen C.S., Oliveira I. et al. Current Knowledge on Snake Dry Bites. *Toxins (Basel)*. 2020. Vol. 12 (11). P. 668. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins12110668>
12. Landová E., Pelěšková Š., Sedláčková K. et al. Venomous snakes elicit stronger fear than nonvenomous ones: Psychophysiological response to snake images. *PLoS One*. 2020. Vol. 15 (8). P. 236999. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236999>
13. Needleman R.K., Neylan I.P. and Erickson T.B. Environmental and Ecological Effects of Climate Change on Venomous Marine and Amphibious Species in the Wilderness. *Wilderness and Environmental Medicine*. 2018. Vol. 29 (3). P. 343–356. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wem.2018.04.003>
14. Paolino G., Nicola M.R.D., Pontara A. et al. *Vipera* snakebite in Europe: a systematic review of a neglected disease. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*. 2020. Vol. 34 (10). P. 2247–2260.
15. Zinenko O., Tovstukha I. and Korniyenko Y. PLA2 Inhibitor Varespladib as an Alternative to the Antivenom Treatment for Bites from Nikolsky's Viper *Vipera berus nikolskii*. *Toxins (Basel)*. 2020. Vol. 12 (6). P. 356. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins12060356>
16. Al-Shekhadat R.I., Lopushanskaya K.S., Segura A. et al. *Vipera berus berus* Venom from Russia: Venomics, Bioactivities and Preclinical Assessment of Microgen Antivenom. *Toxins (Basel)*. 2019. Vol. 11 (2). P. 90. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins11020090>
17. Di Nicola M.R., Pontara A., Kass G.E.N. et al. Vipers of Major clinical relevance in Europe: Taxonomy, venom composition, toxicology and clinical management of human bites. *Toxicology*. 2021. Vol. 15 (453). P. 152724. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tox.2021.152724>
18. Ullah A., Masood R., Ali I. et al. Thrombin-like enzymes from snake venom: structural characterization and mechanism of action. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018. Vol. 114. P. 788–811. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.164>
19. Spolaore B., Ferandez J., Lomonte B. et al. Enzymatic labelling of snake venom phospholipase A2 toxins. *Toxicon*. 2019. Vol. 170. P. 99–107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2019.09.019>
20. Hiu J.J. and Yap M.K.K. Cytotoxicity of snake venom enzymatic toxins: phospholipase A2 and l-amino acid oxidase. *Biochemical Society Transactions*. 2020. Vol. 48 (2). P. 719–731. DOI: <https://doi.org/10.1042/bst20200110>

REFERENCES

1. Mudrak, O.V. (2011). *Ekolohiia [Ecology]*. Vinnytsia [in Ukrainian].
2. Herzig, V. (2021). Animal Venoms-Curse or Cure? *Biomedicines*, 9 (4), 413. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines9040413> [in English].
3. Mohamed, E.-A.T., Garcia, S.A. & Stockand, J.D. (2019). Snake Venoms in Drug Discovery: Valuable Therapeutic Tools for Life Saving. *Toxins (Basel)*, 11 (10), 564. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins11100564> [in English].
4. Bocian, A., Urbanik, M., Hus, K. et al. (2016). Proteome and Peptidome of *Vipera berus berus* Venom. *Molecules*, 21 (10), 1398. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules21101398> [in English].
5. Schendel, V., Rash, L.D., Jenner, R.A. & Undheim, E.A.B. (2019). The Diversity of Venom: The Importance of Behavior and Venom System Morphology in Understanding Its Ecology and Evolution. *Toxins (Basel)*, 11 (11), 666. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins11110666> [in English].
6. Oliveira, A.L., Viegas, M.F., da Silva, S.L. et al. (2022). The chemistry of snake venom and its medicinal potential. *Nature Reviews Chemistry*, 6 (7), 451–469. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41570-022-00393-7> [in English].
7. Utkin, Y. (2021). Animal Venoms and Their Components: Molecular Mechanisms of Action. *Toxins (Basel)*, 13 (6), 415. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins13060415> [in English].
8. Mudrak, O.V., Maievskiy, O.Ie. & Sliptsova, I.V. (2021). Vmíst molekul sereďnoi masy v tkanyňi kyshechnyka shchuriv za dii otruty hadiuk [The content of medium-mass molecules in the intestinal tissue of rats under the effect of viper venom]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia: tradytsii, perspektyvy ta innovatsii: materialy Mizhnarodnoi naukovy-praktychnoi konferentsii [Balanced environmental management: traditions, prospects and innovations: materials of the International Scientific and Practical Conference]*. (pp. 89–91). Kyiv: DIA [in Ukrainian].
9. Mudrak, O.V., Maievskiy, O.Ie. & Sliptsova, I.V. (2022). Vplyv otruty hadiuk *Vipera b. berus* ta *Vipera b. nikolskii* na protsesy homeostazu orhanizmu shchuriv [The effect of *Vipera b. berus* and *Vipera b. nikolskii* venom on the homeostasis processes in the

- rats organism]. *Ekologichna bezpeka ta zbalansovane pryrodokorystuvannya v ahropromyslovomu vyrobnytstvi: materialy Mizhnarodnoi nauko-praktychnoi konferentsii. Chastyna 1* [Environmental safety and balanced nature — use in agroindustrial production: materials of the International Scientific and Practical Conference. Part. 1]. (pp. 269–271). Kyiv: DIA [in Ukrainian].
10. Zhang, Y. (2015). Why do we study animal toxins? *Dongwuxue Yanjiu*, 36 (4), 183–222. DOI: <https://doi.org/10.13918/j.issn.2095-8137.2015.4.183> [in English].
 11. Pucca, M.B., Knudsen, C.S., Oliveira, I. et al. (2020). Current Knowledge on Snake Dry Bites. *Toxins (Basel)*, 12 (11), 668. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins12110668> [in English].
 12. Landová, E., Peléšková, Š., Sedláčková, K. et al. (2020). Venomous snakes elicit stronger fear than nonvenomous ones: Psychophysiological response to snake images. *PLoS One*, 15 (8), 236999. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236999> [in English].
 13. Needleman, R.K., Neylan, I.P. & Erickson, T.B. (2018). Environmental and Ecological Effects of Climate Change on Venomous Marine and Amphibious Species in the Wilderness. *Wilderness and Environmental Medicine*, 29 (3), 343–356. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wem.2018.04.003> [in English].
 14. Paolino, G., Nicola, M.R.D., Pontara, A. et al. (2020). Vipera snakebite in Europe: a systematic review of a neglected disease. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 34 (10), 2247–2260. DOI: <https://doi.org/10.1111/jdv.16722> [in English].
 15. Zinenko, O., Tovstukha, I. & Korniyenko, Y. (2020). PLA2 Inhibitor Varespladib as an Alternative to the Antivenom Treatment for Bites from Nikolsky's Viper *Vipera berus nikolskii*. *Toxins (Basel)*, 12 (6), 356. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins12060356> [in English].
 16. Al-Shekhadat, R.I., Lopushanskaya, K.S., Segura, A. et al. (2019). *Vipera berus berus* Venom from Russia: Venomics, Bioactivities and Preclinical Assessment of Microgen Antivenom. *Toxins (Basel)*, 11 (2), 90. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins11020090> [in English].
 17. Di Nicola, M.R., Pontara, A., Kass, G.E.N. et al. (2021). Vipers of Major clinical relevance in Europe: Taxonomy, venom composition, toxicology and clinical management of human bites. *Toxicology*, 15 (453), 152724. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tox.2021.152724> [in English].
 18. Ullah, A., Masood, R., Ali, I. et al. (2018). Thrombin-like enzymes from snake venom: structural characterization and mechanism of action. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 788–811. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.164> [in English].
 19. Spolaore, B., Fernandez, J., Lomonte, B. et al. (2019). Enzymatic labelling of snake venom phospholipase A2 toxins. *Toxicon*, 170, 99–107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2019.09.019> [in English].
 20. Hiu, J.J. & Yap, M.K.K. (2020). Cytotoxicity of snake venom enzymatic toxins: phospholipase A2 and l-amino acid oxidase. *Biochemical Society Transactions*, 48 (2), 719–731. DOI: <https://doi.org/10.1042/bst20200110> [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 13.08.2022

ABSTRACT

Konishchuk V.¹, Smagol V.², Shumyhai I.¹ Nature conservation significance of Plav-II, Yamny peat ecosystems of Zhytomyr region. *Agroecological journal*. 2022. No. 3. P. 6–16.

¹ *Institute of Agroecology and Nature Management of the NAAS*

² *Institute of Zoology named after I.I. Schmalhausen of the NAS*

e-mail: konishchuk_vasyl@ukr.net

The materials of the Report on environmental impact assessment of peat extraction of the Plav-II deposit in the administrative boundaries of Olevskiy district of Zhytomyr region were analyzed. Nature conservation studies of peat ecosystems of Plav-II, Yamny have been carried out. We do not recommend the development of peat deposits. The territory of the planned activity (the southern section of the Yamny peat deposit) is partially located on the territory of the Emerald Slovechanskyi Kriazh (UA 0000173) facility. Among the animal species included in the Red Book of Ukraine, *Lanius excubitor* Linnaeus, 1758, *Lyrurus tetrix* Linnaeus, 1758 were recorded. In the last case, a hen with chicks was noted. This fact testifies to the importance of this locality for the reproduction of the species, since the hatching and hatching of the offspring in grouse takes place in the foci of their moulting in the spring. In addition to the mentioned species, the noted *Crex crex* Linnaeus, 1758 is a species included in Appendix II of the Berne Convention, ratified by Ukraine. For the first time, new habitats of six plant species listed in the Red Data Book of Ukraine were discovered: *Carex chordorhiza* Ehrh., *Carex heleonastes* Ehrh., *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó (*Orchis incarnata* L.), *Utricularia intermedia* Hayne, *Salix lapponum* L., *Salix myrtilloides* L. Noted regionally rare species of flora: *Parnassia palustris* L., *Nymphaea candida* C. Presl., *Carex limosa* L. Monitoring such rare species of higher vascular plants as *Andromeda polifolia* L., *Drosera rotundifolia* L., *Rhynchospora alba* (L.) Vahl, etc. need research. Habitat types from resolutions of the Convention on the Conservation of Wild Flora and Fauna and Natural Habitats in Europe (Bern Convention): C1.222 Floating *Hydrocharis morsuranae* rafts – *Hydrocharis morsuranae*, D2.3 Transition mires and quaking bogs. One of the features of the flora and vegetation of the Plav-II tract is the absence of adventive, invasive plant species (with the exception of *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott). On the other hand, on the drained Yamny peatland, phytovasions appear massively, but in comparison there is a much greater and zoologically important diversity of avifauna. It is recommended to create a

reserve of local importance Plav-II, as well as justify rehabilitation and renaturalization measures in the Yamny peatland.

Key words: wetlands, peat, environmental impact assessment, nature protection, Red Data Book of Ukraine, Emerald eco-network.

Mudrak O.¹, Mahdiichuk A.² Space-time analysis of the phytocenotic cover of the mining and industrial landscapes of the right-bank forest-steppe. *Agroecological journal*. 2022. No. 3. P. 17–25.

¹ *Public Higher Educational Establishment «Vinnytsia Academy of Continuing Education»*

² *Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

e-mail: ov_mudrak@ukr.net

In the proposed article we highlight the peculiarities of the formation of phytocenotic cover within the limits of quarry-dumping complexes of mining and industrial landscapes of Right-Bank Forest-Steppe. It was determined, that the formation of such anthropogenic landscapes depends on the general natural conditions of the territories, production features and the method of mineral extraction. According to the definition of T.A. Rabotnov, within the formed man-made substrates, the emergence of primary succession is possible due to the presence of plant rudiments in the deposits or the ingress of plant diaspores from the outside, which distribution is directly depends on the individual ecotopic conditions within the pits. Therefore, the purpose of our research is to determine the influence of ecotopic conditions on the formation of phytocenotic cover of the mining and industrial landscapes of the Right-Bank Forest-Steppe (on the example of the Andriykovetsky sand quarry). In order to explore the trends and rates of changes in this area, the dynamics with using photos from different years was determined and landscape maps were created. The Andriykovetsky sand quarry is a part of the deposits of the Sarmatian layer – the lower geological layer of the upper Miocene of the Neogene period. The investigated territory is characterized by sharp differences in altitude compared to the surrounding agro-ecosystems of related agricultural lands. Breaches, which were caused by mineral extraction processes, are marked by the formed man-made accumulative relief. In the structure of the mining landscape, we highlight the next main areas: the hilly monolithic bottom of the sandpit without vegetation; steep (up to 80°) sandy walls of the quarry without vegetation; hilly loamy-sandy surfaces overgrown with cereal vegetation and various herbs; micro-bumpy surface of sandy loam

dumps overgrown with ruderal vegetation; slopes of sandy-loam dumps overgrown with ruderal vegetation, trees and bushes; shaft-shaped embankments overgrown with cereal vegetation and bushes; micro-bumpy ledges of overburden rocks, overgrown with grass-cereal vegetation and single trees; sloping surfaces overgrown with various herbaceous vegetation; low-lying areas with sufficient moisture, overgrown with moisture-loving vegetation; sandy and loamy areas within the quarry, not occupied by developments. Also, we analyze the changes in vegetation and man-made landscape elements that occurred during the study period: during the three-year observation period, the areas of plant cover within the quarry and the number of species were increased. It was found, that the quarry is characterized by the spread of segetal-ruderal vegetation and the process of synanthropization, which can lead to the loss of typical species diversity.

Key words: biogeocenotic cover, distribution of species, succession, self-regeneration, mineral extraction, Andriykovetsky sand quarry, reclamation, Podillya.

Hovorukha V., Havryliuk O., Bida I., Gładka G., Tashyrev O. Optimization of methane fermentation of agricultural waste. *Agroecological journal*. 2022. N. 3. P. 26–34.

Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the NAAS

e-mail: vira-govorukha@ukr.net

Accumulation of environmentally hazardous agricultural waste, in particular cow manure without the proper treatment, creates an ecological threat to the environment. During the energy crisis, the search for alternative pathways to obtain energy is also one of the most urgent issues today. Cow manure is promising as a substrate for anaerobic fermentation with the production of a valuable energy carrier – methane. Fermentation of cow manure as a sole substrate is not spread. It takes place due to the low efficiency of the process. We hypothesized that low efficiency is caused by the inhibition of the microbiome of cow manure by the end products of fermentation in the gastrointestinal tract of cows and non-optimal conditions for microbial growth. Thus, the goal of the work was to develop the approach of methane fermentation of cow manure using a conversion succession for its effective degradation with the obtaining of a valuable energy carrier. The following methods were used: potentiometric measurement of pH and Eh, chromatographic determination of the composition of the gas phase. To study the patterns of methane fermentation of cow manure, the following treatments were analyzed: 1. fermentation of manure by the autochthonous microtome without regulation of the pH of the medium; 2. fermentation of manure with the addition of fermented sludge of methane tank as an inoculum without pH regulation; 3. via adding

fermented sludge of methane tank and with pH regulation. As a result, the fermentation of cow manure by the autochthonous microbiome was shown to be inefficient. In this case, the methane yield was only 20 L/kg of substrate. The inhibition of the microbiome was suggested to take place due to the accumulation of the end products of fermentation. Conversion succession, i.e., the replacement of the autochthonous microbiome, due to the introduction of biomass of fermented sludge of methane tank, provided the increase in the yield of methane to 230 L/kg of substrate. This result testifies the application of another methanogenic microbiome is useful to increase the efficiency of the process. In this case, compounds that inhibited the autochthonous microbiome serve as the substrate for the introduced one. The regulation of the pH allowed creating of the optimal growth conditions for microorganisms and increased the yield of methane to 280 L/kg of substrate. So, the change of the microbiome, i.e. conversion succession, and the regulation the pH made it possible to 14-fold increase in the efficiency of methane fermentation of cow manure. This approach is promising for the effective degradation of cow manure with the production of a valuable energy carrier, methane. The obtained results can be the basis for the further development of environmental and energy microbial biotechnologies.

Key words: energy carriers, microbial biotechnology, environment protection, cow manure, alternative energy.

Polishchuk V. Aspects of ecological taxation development in the European economy transformation. *Agroecological journal*. 2022. No. 3. P. 35–46.

Vinnytsia Academy of Continuing Education

e-mail: vpolishchuk7@gmail.com

It is revealed that the fiscal ecological policy plays a principal role in the complex process of economic transformation. One of its functions is a direct participation in the realization of the nature environment conservation policy of European countries, which in turn react resolutely and balanced on the aggravation of resource problems and ecological crisis. The main purpose of this article is the influence identification of the environmental taxation on the realization of the environmental conservation policy of the European Economic Area (EEA) with financial and economic capability of the modern European countries considered. Complex indicators, which are investigated analytically with the comparative analysis considered, are utilized for the realization of the aforementioned endeavor. The experience of the European countries is recommended to be explored, generalized and engrained if possible in Ukraine for modern system of the environmental taxation formation. The indicators, which characterize the level of EU environmental taxation income, are analyzed systematically. As the realization of the fiscal and ecological policy has to become one of the stimulating

factors of the environmental conservation, the basic aspects of environmental taxation implementation of the European countries are determined. The systematic approach for environmental taxation influence determination on the successive prospects of environmental conservation doctrine realization by the European community is applied in the article. The European community in turn has to make a balanced choice of the chief priorities for the further community and economic development. It has been proven that the environment degradation and irrational usage of the natural resources are the main motivating stimulus for the environmental conservation policy of Europe transportation. It should be pointed out that the efficacious implementation of the environmental taxation is obligatory for the full-fledged policy realization. The comprehensive investigating method which indicates the real influence of different kinds of the environmental taxation on an increase of the technical level of the production and the auspicious investment climate establishment. The realization of the investment policy of the environmental conservation and fiscal ecological reform are the paramount component of the sustainable development and its fulfillment must be directed to the increase of the quality level of the environment. European countries have already reached certain results, but the modification of nature conservation policy must be continuous and meet the requirements of time. It is investigated that ecotax can play a critical role in material and mental influence on a manufacturer, a consumer and non-ecological services. Financial instruments in turn are more often utilized by market economy countries for improving ecosystem quality and live circumstances of society.

Key words: fiscal policy; transport taxes; environmental taxes; resource taxation; municipal waste; recycling.

Orlov O.¹, Konishchuk V.², Martynenko V.^{2,3} Phytostroma transformation of «Rechitsia» hydrological reservoir as a consequence of amber mining. *Agroecological journal*. 2022. No. 3. P. 47–61.

¹ *SU "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine"*

² *Institute of Agroecology and Nature Management of NAAS*

³ *Drevlyansky Nature Reserve*
e-mail: orlov.botany@gmail.com

As a result of illegal amber mining on the territory of «Rechitsia» hydrological reserve, 97.0 hectares or 80.8% of its area was damaged during 4 years (2014–2017). Including on the area of 59.2 hectares (49.3% of the area of the reserve), catastrophic changes took place – the complete destruction of natural ecosystems; on 37.8 hectares or 31.5% of the area of the reserve, gradual negative changes are taking place –

there is a strong impact on natural ecosystems from the side of the surrounding quarters, disturbed by amber mining. As a result of the illegal mining of amber on the territory of «Rechitsia» hydrological reserve, all protection priorities were lost both at the species and coenotic levels. On its territory, meso-oligotrophic ancient, 130-year-old pine-sphagnum bogs (unique reference areas), treeless oligotrophic sedge-sphagnum bogs, and areas of ancient, 110-year-old dryland pine-oak acidophilic, floristically rich forests had the greatest value. Prior to anthropogenic disturbance of the natural ecosystems of the reserve on its territory, the priorities of protection at the species level were 8 species of vascular plants listed in the «Red Book of Ukraine», as well as 5 species of animals listed in the «Red Book of Ukraine». At the cenotic level, rare coenoses of forest-swamp meso-oligotrophic and oligotrophic swamps of the reserve were protected, listed in the «Green Book of Ukraine». In 8 areas bordering heavily disturbed areas, a strong impact on natural ecosystems from the surrounding disturbed quarters is now manifested, due to negative changes in the general hydrological regime of the territory – as a rule, significant drying, which results in the degradation of natural vegetation. The total area of such plots in «Rechitsia» reserve is 37.8 hectares or 31.5% of the area of the reserve. These gradual changes are manifested, first of all, in the loss of ecological stability of ecosystems, the loss of the most moisture-loving species at the first stage, the thinning and gradual dying of the crowns of the tree stand, the reduction of species and coenotic diversity of flora and fauna. On the territory of the former reserve, disturbed by illegal amber mining, it is necessary to carry out engineering reclamation, after which – biological, namely – planting of birch and pine crops.

Key words: flora, vegetation, meso-oligotrophic bogs, rare species of plants and animals, RedData Book of Ukraine, Zhytomyr region.

Parfenyuk A., Kosovska N., Borodai V., Turovnik Yu. Root exometabolites as an ecological factor in the interaction between cultivated plants and soil microorganisms. *Agroecological journal*. 2022. No. 3. P. 62–74.

Institute of Agroecology and Nature Management of the NAAS

e-mail: vereskpar@ukr.net

The results of the analysis of scientific literature sources regarding the role of root exometabolites in the interaction between cultivated plants and soil microorganisms are presented. It has been proven that root exometabolites are recognized by rhizospheric microorganisms, which, in turn, produce signaling molecules and initiate various plant reactions in response to colonization. The main functions of root exometabolites are considered and their specific features are given depending on the type of plants and the stage of their development. The results of

research on the positive influence of the rhizosphere microbiome on the growth and development of plants, which is due to the secretion of plant growth hormones by growth-stimulating bacteria, solubilization of nutrients, antagonism to pathogens and induction of the plant immune system, are presented. The components of protective metabolic systems of plants against soil phytopathogenic microorganisms that provide biomolecules of phenolic compounds are described. Mechanisms of regulation of interaction both at the level of molecular and ultrastructural changes of the cell, and at the level of biochemical and physiological processes are highlighted. The participation of transporter proteins in the synthesis and exudation of protective phytochemicals, which can be modified by the soil microbiome, is shown. Plant signaling molecules induce hyphal branching of micromycetes and trigger morphogenesis of fungal hyphae, which precedes successful colonization. The peculiarities of vesicular-arbuscular mycorrhiza, the induced root exudates of which contribute to both the development of microbial associations in the rhizosphere and plant growth, are considered. The interaction of plants with soil microorganisms plays an important role in the resistance of plants to heavy metals, for example by reducing their bioavailability in the soil using various mechanisms. The study of root exometabolites of plants will allow a better understanding of the interaction of plants and microorganisms, which determines their role as an ecological factor in microbial-plant associations.

Key words: plant exudates, root system, microbiome, rhizosphere, signaling, metabolites.

Stetsiuk O.¹, Kyrychenko L.¹, Ratoszniuk V.¹, Shtanko I.¹, Lyubchenko V.¹, Ilyinsky Y.² Biologized agricultural methods as a basis for sustainable functioning of a hop plantation. *Agroecological journal*. 2022. No. 3. P. 75–83.

¹ *Institute of Agriculture of Polissya of the NAAS*

² *Zhytomyr Agricultural Technical College*

e-mail: alex.stecyuk@ukr.net

Intensive technological process of hop growing traditionally supposes withholding of spaces between rows of hop plantations free of vegetation due to the interrow cultivating. It results in the disruption of the natural process of reproduction of soil fertility, and in a decrease in the stability of the functioning and productivity of agrobiocenosis. In a hop growing the problem of humulocenosy constancy home and foreign scientists partly decide by green manure in spaces between rows. It makes it possible to restock organic substances of soil in the conditions of deficit of organic fertilizers and decrease anthropogenic pressure on an environment. This issue is studied more widely and publications on this theme meet in professional editions. However, the problem of application of grass mixtures for tinning the spaces

between rows, and its influence on the soil fertility factor, water-physical and chemical properties, and hop productivity has not been sufficiently studied. The aim of the research is to develop the main agroecological components of the sustainable functioning of the agrobiocenosis of hop plantations in order to prevent deterioration because of the anthropogenic loading. Methods of researches are the field experiments, laboratory researches, meteorological researches, statistical methods of analysis. It has been proven that the efficient functioning of the agrobiocenosis of hop plantations is ensured by energy-saving norms for the use of fertilizers, which are based on green manure of row spacing (oil radish) with the introduction of 20 000 kg of humus per hectare + N₁₈₀P₁₆₀K₂₂₀; double green manure between rows (oil radish and lupine alternately) + N₁₀₀P₆₀K₁₂₀; sod between rows with the introduction of 20 000 kg of humus per hectare before turfing + N₁₈₀P₁₆₀K₂₂₀. At the same time, the yield of hop cones remains at the level of the generally accepted regulations for the use of fertilizers, and in the variant with green manure and the introduction of 20 000 kg of humus per hectare + N₁₈₀P₁₆₀K₂₂₀, it has an advantage of 9–10%. Environmental – economic efficiency indicates the feasibility of forming agrobiocenosis of hop plantations, which is based on such components as sideration and sod between rows. It is less costly, and improves the natural process of soil restoration, and profitability exceeds traditional technology by 1.0–10.5%.

Key words: hop, green manure, sod, soil, agrobiocenosis, hop alpha-acids.

Svydenko L.¹, Hlushchenko L.², Vergun O.³, Gudz N.⁴, Markovska O.⁵ Assessment of the weather conditions influence on the economic and value characteristics of *Lavandula angustifolia* L. in the conditions of Kherson region. *Agroecological journal*. 2022. No. 3. P. 84–93.

¹ *Institute of climate-oriented agriculture of the NAAS*

² *Research station of medicinal plants of the Institute of Agroecology and Nature Management of the NAAS*

³ *National Botanical Garden named after M.M. Hryshka of the National Academy of Sciences*

⁴ *Ivan Franko Lviv National University*

⁵ *Kherson State Agrarian University of the NAAS*
e-mail: L256@ukr.net

Assessment of the prospects of introduced and created varieties of *Lavandula angustifolia* L. in the conditions of the Southern Steppe in terms of yield and essential oil content in raw materials, as well as the influence of the weather conditions of the year on these economically valuable traits is given. The study included 11 samples of *Lavandula angustifolia* L.

Ecological and phenological observations were carried out for the studied plants. During the period of mass flowering of plants, the crop was recorded. The mass fraction of the essential oil was determined by the Ginsberg method on the Clevenger apparatus. The main results of the multi-year research work on the assessment of collection samples for economic and valuable characteristics of *Lavandula angustifolia* depending on weather conditions are highlighted. On the basis of the State Enterprise «Experimental Farming “Novokakhov”» of the Institute of Climate-Oriented Agriculture of the National Academy of Sciences of Ukraine, collection plots of narrow-leaved lavender samples were established for introductory study and testing in the conditions of the Southern Steppe. For 20 years in this region, *Lavandula angustifolia* underwent multi-vector study as an ornamental and essential oil crop. During this period, new variety samples and varieties adapted to local conditions were created, which have increased decorative indicators, as well as high yield and mass share of essential oil in raw materials. In particular, Lydia, Victoria and Sinieva Nadiyi varieties, with the following characteristics: plant height, cm – 65, 60.0 and 60.0, respectively; inflorescence length, cm – 8.0, 5.0 and 13.0; number of inflorescences on a plant, pcs. – 95, 230 and 200; number of flowers in an inflorescence, pcs. – 80, 49 and 90; essential oil content, % – 3.0, 3.8 and 3.25; collection of essential oil, kg/ha – 64.0, 83.0 and 71.0; content of linalyl acetate in essential oil, % – 48.0, 34.2 and 20.1; duration of the flowering period, days – 30; inflorescence yield, t/ha – 0.53, 0.55 and 0.55; frost resistance, score (1–9) – 9; resistance against pests, score (1–9): ant (*Lasius niger*) – 9; causative agents of diseases, score (1–9) – 9 – not detected (village Lidia), sora rot – 9 (village Victoria) and not detected (village Sinieva Nadiyi); zoning area – steppe. The period 2016–2021 is of particular interest, considering the study of the adaptability of culture. The weather conditions in the mentioned years differed among themselves in terms of temperature, amount of precipitation and their distribution, etc. Such conditions made it possible to assess comprehensively the influence of the weather conditions on the manifestation of economic and valuable characteristics of collections of lavender samples in this region, including newly created varieties of this valuable culture. Observations revealed deviations in the passage of phenological phases and the accumulation of essential oil. The minimum yields and essential oil content of all samples occurred in 2016, which is associated with a sharp drop in temperature and freezing of plant shoots. The maximum yield of raw materials was recorded in 2020, which is associated with the optimal amount of precipitation in the phase of growth and budding. The maximum indicators of the mass fraction of essential oil in raw materials were recorded in 2018, which is associated with high average daily temperatures and the absence of precipitation and dry weather during flowering.

The results of the long-term evaluation of the samples of narrow-leaved lavender *L. angustifolia* based on the main economic and valuable characteristics indicate the prospects of industrial cultivation of the crop in the conditions of the Southern Steppe, and also convincingly prove the presence of genetic material of domestic origin adapted to the conditions of the region.

Key words: *Lavandula angustifolia*, collection samples, varieties, productivity, essential oil, weather conditions.

Demyanyuk O.¹, Kichigina O.¹, Tsybro Yu.¹, Kutsenko N.², Kutsenko O.¹, Vlasenko I.³ Developing methodological approaches for determining seed germination of common St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.). Agroecological journal. 2022. No. 3. P. 94–105.

¹ *Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

² *Research Plant of Medicinal Plants of the Institute of Agroecology and Nature Management of NAAS*

³ *National Academy of Agricultural Sciences of Ukraine*

e-mail: ol_ki@ukr.net

Increasingly high requirements for the seed material of medicinal crops are set, which must be harmonized with international standards and requirements. There are guidelines for good cultivation and harvesting practice (GACP) of plant raw materials. The production of medicinal plant raw materials requires not just varietal seeds, but also seed material with high sowing qualities. Therefore, seed quality control is a mandatory measure, which is not possible without established methods for determining its sowing quality. Particular attention in the study of these issues requires the seeds of medicinal plants that are grown for a short time in the culture, which includes St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.). According to the results of the analysis of scientific literature and normative documents, it is established that in Ukraine for a wide range of medicinal and essential oil crops, including St. John's wort, there are no regulations (current standards) for methods of determining sowing qualities, technical conditions for seeds. At the same time, the most important indicator of seed sowing qualities is germination. The level of germination is established by the standard ensures normal germination of seeds in the field, the formation of optimal crop density and crop yields. This indicator is basic in the purchase and sale of seeds, the release of seeds for sowing. Therefore, the aim of the work was to develop methodological approaches to determine the germination of St. John's wort seeds using standard procedures and techniques used in domestic and international practice. The methodological approaches given for other cultures in normative

documents both in force in Ukraine and abroad were taken into account. It is established that the methodological features of determining the indicators of germination energy and seed germination of St. John's wort are the possibility of using filter paper or sand as a substrate for germination. The optimal substrate is filter paper, and the method of germination — on the filter. For seed germination on filter paper and in sand it is recommended to use a constant temperature (+20°C) or variable (+20–30°C). Terms of accounting: germination energy — 10, germination — 21 days. Developed methodological approaches to determine the germination of seeds of St. John's wort are recommended for use in testing laboratories, seed plants and research institutions.

Key words: sowing qualities of seeds, temperature regime, substrate, method of germination.

Kirilchuk A. Breadmaking potential of winter triticale (*Triticosecale Wittmack* el. Camus) of Polissia ecotype. Agroecological journal. 2022. No. 3. P. 106–118.

State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine»

e-mail: angela.kyrylchuk@gmail.com

The results of the experimental work on the evaluation of the bread-making ability of new varieties of winter triticale of Polissia ecotype, which were carried out in the department of selection and seed production of grain crops of the National Science Center «Institute of Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences», located in Fastiv district of Kyiv region in 2016–2018, are highlighted. The elasticity (P) of the dough on average by varieties was found at the level of 67.2 mm, which corresponds to the indicator of «good filler» wheat, and by varieties ranged from 44 mm (indicator of «weak wheat») in Aristocrat variety to 87 mm («satisfactory improver») in Kotyhoroshko variety. The stretchability (L) of the dough by variety varied from 18 mm (Aristocrat) to 30 mm (Lyubomir) and was 23.5 mm on average. The stretchability of the dough is closely correlated with indicators such as C, the expansion index and the area of the average diagram ($r=0.62-0.67$). According to the results of calculations, the P/L ratio in winter triticale varieties of Polissia ecotype varied from 1.7 units in Volemir variety to 4.4 units in Kotygoroshko variety, and on average it was found at the level of 2.9 units, winter triticale variety is closer to the optimal value Volemir. According to the flour "strength" alveograph indicator, Solodyuk and Lyubomyr winter triticale varieties of Polissia ecotype were distinguished, which reliably prevailed over Poliskyi 7 standard variety ($NIR_{05}=17$) and amounted to 93 J and 76 J, respectively. The amount of «raw» gluten in winter triticale varieties ranged from 6.4% in Aristokrat variety to 15.0% in KS 9-17 sample, and on average was 11.8%. After drying, the amount of «dry» gluten varied from 2.38% to 5.04%, and averaged

3.9%, which was 33% of the amount of «raw» gluten. The highest indicator of hydration capacity (233.3%) was observed in Petrol variety compared to Poliskyi 7 standard variety, which significantly exceeded it by 47.6 units ($NIR_{05}=14$). The physical properties of triticale gluten resemble weak wheat gluten with low elasticity. Tight triticale gluten makes it possible to bake good bread. The volume yield of loaves from triticale flour was 298 ml on average and varied from 260 ml in Poliskyi 7 variety to 345 ml in Fanat and Solodyuk varieties. Selected winter triticale varieties of Polissia ecotype with satisfactory baking quality, according to the wheat baking technology without adding improvers, are advisable to use in the baking industry.

Key words: protein, elasticity, gluten complex, gas-forming capacity, bakery properties, triticale flour.

Bunas A., Tkach E, Dvoretzky V., Dvoretzka O. Efficiency of using Biosystem POWER, KS (BioSistem POWER, SC) preparation to accelerate the destruction of post-harvest residues. Agroecological journal. 2022. No. 3. P. 119–125.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: bio-206316@ukr.net

Disposal of post-harvest residues from agro-ecosystem remains one of the urgent issues of today for agricultural producers. Burning straw and stubble is an extremely radical and destructive method for biogeocenosis, because during combustion between straw and the soil layer due to water vapor, conditions are created that the burning temperature exceeds 600°C. As a result of such actions, microorganisms, worms, insects, small vertebrates die and the fertile layer of humus is destroyed. Modern biological preparations, which contain a complex of living agronomically useful microorganisms, help to solve the issue of post-harvest residues. By accelerating the destruction of organic masses in the soil, the C:N ratio is equalized, organic substances are supplied in a form available to plants, the development of phytopathogens is inhibited, moisture is retained, and humus accumulation processes are active. Field studies were conducted to determine the effectiveness of the new biological preparation BioSistem POWER KS (BioSistem POWER, SC), which contains active bacterial strains of the genera *Paenabacillus*, *Azotobacter*, *Enterobacter* and micromycetes of the genus *Trichoderma*. Selection of soil samples was carried out 90 days after processing, laboratory tests were carried out in accordance with generally accepted microbiological methods. It was established that the use of BioSistem POWER KS biological preparation (BioSistem POWER, SC) compared to the control increases the level of carbon dioxide emission of the soil of the experimental variants by 2 times, the level of cellulolytic activity by 23–34% depending on the rate of use, the antifun-

gal activity of the soil by 2.5-3 times. Therefore, the biopreparation BioSistem POWER KS (BioSistem POWER, SC) at the rate of 0.3 and 5 l/ha can be recommended to agricultural producers for use in the autumn-spring period to accelerate the decomposition of post-harvest residues.

Key words: stubble, post-harvest residues, cellulose-destroying activity, antifungal activity, carbon dioxide emission intensity.

Gunchak M.¹, Sobko V.², Romanova S.³, Hryshchenko O.³ Influence of Phylazonit biopreparation on the fertility of the soil and yield of agricultural crops. *Agroecological journal*. 2022. No. 3. P. 126–135.

¹ *Chernivtsi branch of the State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine»*

² *Khmelnytskyi branch of the State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine»*

³ *State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine»*

e-mail: chernivtsy_grunt@ukr.net

Influence of biological destructors Phylazonit SV and soil inoculant Phylazonit TO on yield of agricultural crops and basic soil parameters were researched. They included the following bacterial strains *Bacillus circulans*, *Pseudomonas putida*, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium*. It was established, that using Phylazonit SV before plowing at the rate 10 l/ha and in spring Phylazonit TO at rate 15 l/ha have increased pea yield by 22.8%, soybean by 21.9%, potato by 11.2%, maize by 19.4%. Additionally, the hummus parameters increased by 0.03–0.08%, lightly hydrolyzed nitrogen by 1.0–7.0 mg/kg, phosphorous movable forms by 2.0–6.0 mg/kg, potassium's movable forms by 3.0–13.0 mg/kg soil. The soil-centric technology besides Phylazonit SV and Phylazonit TO with mineral fertilizers input came to pea yield increase by 30.1%, soybean by 36.8%, potato by 22.9%, maize by 35.8%. The soil-centric technology came to humus parameters increase by 0.05–0.1%, lightly hydrolyzed nitrogen by 5.0–15.0 mg/kg, phosphorous mobile forms by 8.0–18.0 mg/kg and potassium movable forms by 6.0–18.0 mg/kg in soil. The researched technologies for soil fertility evaluation showed the following notional net income for pea growing 315,7–522,2 UAH/ha, for soybean growing – 585,0–764,4 UAH/ha, for potato growing – 4516,0–6284,0 UAH/ha, for maize growing – 1324,0–2014,0 UAH/ha. The usage of technology profitability made for pea 9.8–12.6%, for soybean 13.7–18.3%, for potato 56.1–111.8%, for maize 31.2–40.5%.

Key words: soil inoculants, destructors, peas, soybean, potato, maize.

Zaitsev Yu.¹, Hryshchenko O.¹, Romanova S.¹, Zaitseva I.² Influence of combat actions on the content of gross forms of heavy metals in the soils of Sumy and

Okhtyrka districts of Sumy region. *Agroecological journal*. 2022. No. 3. P. 136–149.

¹ *State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine»*

² *Oles Honchar Dnipro National University*
e-mail: info@iogu.gov.ua

The article highlights the ecological danger of military operations on the territory of Ukraine. The results of experimental studies of the content of gross forms of heavy metals in ten soil samples taken from agricultural lands of Sumy and Okhtyrka districts of Sumy region are presented. Three samples were taken from the places where air bombs had fallen, seven from the places of broken military equipment. As a result of the conducted research, it was established that the background level in terms of lead content was exceeded in all soil samples, the average content of the element in the polluted territories was 5.4 times higher than the background value. Exceeding the background level in terms of zinc content was noted in nine out of ten soil samples, the average content of the element in the polluted areas was 3.9 times higher than the background value. The average content of cadmium in the polluted territories was 1.4 times higher than the background value (the excess was noted in eight soil samples). Exceeding the background value of the gross copper content was found in eight soil samples, on average, according to the experiment, the copper content is 4.6 times higher than the background value. Exceeding the background value for the content of nickel and iron was noted only in three soil samples, and the average content of the elements exceeded the background value by 1.2 and 1.1 times. The average manganese content in the polluted areas was 4.8 times higher than the background value (the excess was noted in six soil samples). Based on the results of the research, it was established that the gross content of lead (in six soil samples), zinc and manganese (in two soil samples), and copper (in five soil samples) from the sites of hostilities exceeded the permissible limits. The content of gross forms of cadmium and nickel did not exceed the MPC. A significantly higher coefficient of variation of the content of gross forms of heavy metals in the combat zone, compared to the content outside the combat zone (background value), may indicate the intensity of the influence of a negative factor on the soil cover. The highest degree of disturbance of the ground cover as a result of hostilities was noted in the places of burned equipment (the villages of Kosivshchyna, Stare Selo, Nyzy, Sumy district, Sumy region). According to the results of the correlation analysis, an extremely strong dependence was established between the content of the studied forms of heavy metals.

Key words: military operations, agricultural land, lead, cadmium, iron, magnesium, zinc, copper, nickel, background content, hazard class, MPC.

Zaitsev Y.¹, Sobko V.², Kozhevnikova V.², Lobanova O.², Kyrylchuk A.¹ Classification of processes that cause land degradation. Agroecological journal. 2022. No. 3. P. 150–159.

¹ State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine»

² Khmelnytsky branch of the State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine»

e-mail: info@iogu.gov.ua

It is highlighted that the current state of agricultural landscapes is characterized by a significant increase in the area of eroded arable land, which amounts to about 11 million hectares, and eroded agricultural lands – more than 13 million hectares (32.0% of their total area). Modern land-tenancy relations do not contribute to the implementation of measures to protect and increase soil fertility and have a negative effect on their fertility. In the process of using the soil cover, the needs and requirements of the ecological balance are ignored, as a result of which agricultural land is exhaustingly exploited. Soils lose a significant part of humus and such trends continue. Degradation processes are most observed in soils where agricultural techniques were violated, unfounded changes in the hydrological regime of the territory were carried out by irrigation and drainage meliorations, pollution by agrochemicals and industrial emissions occurred, which led to the removal of significant areas of productive land from active agricultural use. It has been established that the process of pollution manifests itself differently and depends on the types of harmful substances, their concentration in the soil environment and toxicity, on the natural properties and characteristics of the soil cover. It is proposed that the suitability of the soils of the contaminated lands should reflect the natural and acquired over time properties of their quality state. The combination of these properties is possible on the basis of establishing the boundaries of contaminated land on soil maps. This will make it possible to determine the area, composition of agricultural production groups and characteristics of the natural state of contaminated soils, humus content, depth of humus profiles, granulometric composition, etc. The established processes that cause various types of degradation require further processing of the parameters of indicators of crisis phenomena. It is emphasized that in the classification of processes leading to the degradation of agricultural lands, it is necessary to pay attention to the economic activity that leads to soil degradation and which is reflected in the dynamics of the structure of cultivated areas; spread of phytoviruses of different taxonomic groups in agricultural plants, weeds, wild plants and soil of different ecological regions of Ukraine; handling of waste of I–IV hazard classes.

Key words: agricultural land, economic activity, degraded and unproductive land, ploughed land, environmentally safe agro-landscape.

Mudrak O.¹, Sliptsova I.² Particularity of environmental biotic factors impact on mammal's organism. Agroecological journal. 2022. No. 3. P. 160–166.

¹ Public Higher Educational Establishment «Vinnytsia Academy of Continuing Education»

² Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: ov_mudrak@ukr.net

This article explores ecological significance of animal venom as a stressful biotic factor and its role in disruption of homeostatic processes in mammal's organism. The variety of venomous species of animals and their widely distribution in the world forces other species of animals to adapt to the coexistence with them. Thus, venom toxins have an important ecological significance, because they act as stressors and appreciably impact on the biotic interaction between organisms. According to scientists' estimates, 220.000 species of animals, or 15% of the world's biodiversity, are venomous, and there are 3.709 species of venomous snakes. The increase of snakebites cases is not only related to geographical distribution of snakes, but also to climate changes (high humidity and an increase of average annual temperature), which contributes to the reproduction of snakes and a shift of their natural habitats. Every year, around 5.4 million people are bitten by snakes worldwide. This leads to heavy social and economic costs in many countries of the world and it is the reason for constant attention to this problem. Among the variety of venomous animals, snakes have attracted the greatest attention of scientists due to peculiarities of the composition of their venom, its biochemical properties and the possibility of use in pharmacology and medicine. However, despite annual large-scale studies of the composition of snake toxins, the specifics of their effects on animals and human is not fully indentified. It has been established that among venomous snakes only vipers are common in Ukraine. Among them there are two subspecies of the common adder (*Vipera berus* Linnaeus, 1758): *Vipera b. berus*, which can be found in Polissia, Forest Steppe and the Carpathians, and Nikolsky's viper (*Vipera berus nikolskii* Vedmederja, Grubant et Rudaeva, 1986), which occurs mainly in the Left Forest Steppe. Their bites can be very painful, but are rarely fatal for adults. *Vipera berus* venom has hemolytic, proteolytic and cytotoxic properties due to its composition: phospholipase A2, serine proteases, metallo proteases, amino acid L-oxidase, hemorrhagic factors and blood coagulation inhibitors, vasoactive peptides, cysteine-rich secretory protein. The composition of *Vipera b. berus* and *Vipera b. nikolskii* venom and mechanism of its action in victim's organism were analyzed too. It is known that among the components of Nikolsky viper's venom (*Vipera b. nikolskii*) the most part belongs to various enzymes. Of all enzymes, phospholipase A2 reached about 65% of the dry weight, serine proteases – 19%. Experiments on mammals (mice) showed that Nikol-

sky's viper (*Vipera b. nikolskii*) venom cause both local symptoms — swelling, pain, lymphangitis, and systemic symptoms — hypotension, mild neurotoxic effect. In addition, there are reports of damage to the cranial nerves and progressive paralysis of the limbs in mice. The components of *Vipera b. berus* viper venom have mainly a hemotoxic effect due to variety of enzymes from the metalloproteinase family, serine proteases, L-amino acid oxidases and C-type lectin-like proteins and cause enhanced blood coagulation. It is known that L-amino acid oxidases block the neuromuscular transmission of impulses and cause the destruction of cell membranes. The venom of this viper also contains several proteins that have a neurotoxic effect. A comprehensive and thorough

analysis of experimental research data testify that the composition of toxins of various animal species, including vipers, is extremely diverse. Plenty of studies state about the hemovasotoxic and neurotoxic effects of these venoms. There are also reports of damage to the cardiovascular, urinary, respiratory, and digestive systems. It is noted that not all targets of viper toxins in mammal's organism have been identified yet, and not all mechanisms of its action are understood, so further research is relevant.

Key words: the common adder (*Vipera berus* Linnaeus, 1758), Nikolsky's viper (*Vipera berus nikolskii* Vedmederja, Grubant et Rudaeva, 1986), envenomation, toxins, composition of venom, homeostasis.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

БІДА Ірина Олександрівна, Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ, м. Київ, Україна (e-mail: irabida19@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7044-3339>)

БОРОДАЙ Віра Віталіївна, доктор сільськогосподарських наук, доцент, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: veraboro@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8787-8646>)

БУНАС Альона Анатоліївна, кандидат біологічних наук, старший дослідник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: bio-206316@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4806-7004>)

ВЕРГУН Олена Миколаївна, кандидат біологічних наук, Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НААН, м. Київ, Україна (e-mail: olenavergun8003@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2924-1580>)

ВЛАСЕНКО Інна Сергіївна, доктор філософії, старший науковий співробітник, Національна академія аграрних наук України, м. Київ, Україна (e-mail: innav_s@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6120-649X>)

ГАВРИЛЮК Олеся Анатоліївна, Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ, м. Київ, Україна (e-mail: gav_olesya@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2815-3976>)

ГЛАДКА Галина Василівна, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ, м. Київ, Україна (e-mail: gladkagv@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3855-1847>)

ГЛУЩЕНКО Людмила Анатоліївна, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Дослідна станція лікарських рослин Інституту агроєкології і природокористування НААН, с. Березоточа, Лубенський р-н, Полтавська обл., Україна (e-mail: L256@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2329-5537>)

ГОВОРУХА Віра Михайлівна, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ, м. Київ, Україна (e-mail: vira-govorukha@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4265-5534>)

ГРИЩЕНКО Олена Миколаївна, кандидат сільськогосподарських наук, Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, Україна (e-mail: grischenkoel@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1241-7183>)

ГУДЗЬ Наталія Іванівна, доктор фармацевтичних наук, професор, Львівський медичний університет ім. Данила Галицького, м. Львів, Україна (e-mail: natali_gudz@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2240-0852>)

ГУНЧАК Михайло Володимирович, кандидат сільськогосподарських наук, Чернівецька філія ДУ «Держґрунтоохорона», м. Чернівці, Україна (e-mail: gunchak00@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3521-8531>)

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

ДВОРЕЦЬКА Олена Миколаївна, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: phoenixbio@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7301-8792>)

ДВОРЕЦЬКИЙ Володимир Володимирович, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: dvchim@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8427-7813>)

ЗАЙЦЕВА Ірина Олексіївна, доктор біологічних наук, професор, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна (e-mail: irinza.ldfr@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5789-7240>)

ЗАЙЦЕВ Юрій Олександрович, доктор економічних наук, професор, державна установа

«Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, Україна (e-mail: info@iogu.gov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8368-8127>)

ІЛЬІНСЬКИЙ Юрій Миколайович, кандидат сільськогосподарських наук, Житомирський агротехнічний фаховий коледж, м. Житомир, Україна (e-mail: ilinskyu@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5301-6714>)

КИРИЛЬЧУК Анжела Миколаївна, кандидат сільськогосподарських наук, ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», смт Чабани, Фастівський р-н, Київська обл., Україна (e-mail: angela.kyrylchuk@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3948-5810>)

КИРИЧЕНКО Леся Петрівна, Інститут сільськогосподарства Полісся НААН, м. Житомир, Україна (e-mail: lkyrych@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8604-2524>)

КІЧІГІНА Ольга Олександрівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: ol_ki@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0879-627X>)

КОЖЕВНИКОВА Валентина Леонідівна, Хмельницька філія ДУ «Держґрунтохорона», м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., Україна (e-mail: obl-rod@ukr.net)

КОНІЩУК Василь Васильович, доктор біологічних наук, професор, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: konishchuk_vasyi@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4115-5642>)

КОСОВСЬКА Надія Анатоліївна, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: kosovska.na@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8881-847X>)

КУЦЕНКО Наталія Іванівна, кандидат сільськогосподарських наук, Дослідна станція лікарських рослин Інституту агроєкології і природокористування НААН, м. Лубни, Полтавська обл., Україна (e-mail: on58842@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4777-1860>)

КУЦЕНКО Олександр Олексійович, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: djek5158@gmail.com)

ЛОБАНОВА Оксана Павлівна, кандидат економічних наук, Хмельницька філія ДУ «Держґрунтохорона», м. Кам'янець-Подільський,

Хмельницька обл., Україна (e-mail: lobanova oksanochka@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-002-7900-0307>)

ЛЮБЧЕНКО Владислав Владиславович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут сільського господарства Полісся НААН, м. Житомир, Україна (e-mail: vladovich70@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-000-7558-8054>)

МАГДІЙЧУК Анна Петрівна, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: mahdiichuk@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6719-2148>)

МАРКОВСЬКА Олена Євгенівна, доктор сільськогосподарських наук, доцент, Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Кропивницький, Кіровоградська обл., Україна (e-mail: mark.elena@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8759-4272>)

МАРТИНЕНКО Василь Валентинович, природний заповідник «Древлянський», Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: martinenko.vasil@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2526-6732>)

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>)

ОРЛОВ Олександр Олександрович, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», м. Київ, Україна (e-mail: orlov.botany@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2923-5324>)

ПАРФЕНЮК Алла Іванівна, доктор біологічних наук, професор, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: vereskpar@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0169-4262>)

ПОЛІЩУК Віктор Миколайович, кандидат географічних наук, доцент, КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти», м. Вінниця, Україна (e-mail: vpolischuk7@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2810-2183>)

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>)

РОМАНОВА Світлана Адольфівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, Україна (e-mail: svkiev07@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3051-1077>)

СВИДЕНКО Людмила Вікторівна, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, смт Хлібодарське, Одеський р-н, Одеська обл., Україна (e-mail: svid65@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4043-9240>)

СМАГОЛЬ Віталій Миколайович, кандидат біологічних наук, доцент, Інститут зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України, м. Київ, Україна (e-mail: vsmagol@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5277-2422>)

СЛЄПЦОВА Інна Володимирівна, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: inna7slyeptsova@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6838-7924>)

СОБКО Володимир Іванович, Хмельницька філія ДУ «Держґрунтохорона», м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., Україна (e-mail: obl-rod@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8230-2904>)

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>)

ТАШИРЕВ Олександр Борисович, доктор технічних наук, професор, Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ, м. Київ, Україна (e-mail: tach2007@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7698-5155>)

ТКАЧ Євгенія Дмитрівна, доктор біологічних наук, старший дослідник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: bio_eco@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0666-1956>)

ТУРОВНИК Юлія Анатоліївна, доктор філософії, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: turovnykylia@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3437-4660>)

ЦИБРО Юлія Анатоліївна, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: u.cubro@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7775-9283>)

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, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: innashum27@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0432-2651>)

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.**

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 не вирішених 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).

Публікація англійською мовою приймається тільки за умови її професійного перекладу. За подачі англійського варіан-

ту, 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 абрєвіатура, 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. Посилання на літературні джерела послідовно нумеруються арабськими цифрами в порядку появи у тексті статті і зазначаються у квадратних дужках.

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, 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 роздруковують на окремому аркуші – Microsoft Office Excel.

Всі ілюстрації треба подавати у чорнобілому варіанті або у градаціях сірого кольору.

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 телефоном: (044) 522-60-62.
E-mail: agroecojournal@ukr.net