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

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

3 • 2024

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ 3•2024

Виходить чотири рази на рік

ЗАСНОВНИКИ

Інститут агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України

Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України»

Всеукраїнська громадська організація «Асоціація агроекологів України»

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

Журнал внесено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») згідно з Наказом МОН України від 17.03.2020 № 409 для публікації основних результатів дисертаційних робіт та матеріалів досліджень вчених теоретичного і практичного характеру з актуальних питань за спеціальностями: 101 – Екологія; 201 – Агрономія; 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 № 8 від 18 липня 2024 р.)
Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 23578-13418 ПР від 27.09.2018.

Підписано до друку 09.09.2024 р. Формат 70×100/16. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 12,9. Наклад 250 прим. Зам. № АЕ-03–24.
Оригінал-макет та друк ТОВ «ДІА». 03022, Київ-22, вул. Васильківська, 45

© Агроекологічний журнал, 2024

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

3•2024

КИЇВ • 2024

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

3 • 2024

AGROECOLOGICAL JOURNAL

EDITORIAL BOARD

Editor-in-chief

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

Executive Secretary

SHUMYHAI I., Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher

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

KYIV • 2024

НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

3 • 2024

AGROECOLOGICAL JOURNAL

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор

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

Відповідальний секретар

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

БУДЗАНІВСЬКА І.Г.,
д-р біол. наук, проф. (Київ)

БУШТРУК М.В.,
канд. с.-г. наук, доцент (Біла Церква)

ВИСОЧАНСЬКА М.Я.,
д-р екон. наук, ст. досл. (Київ)

ВОВК Н.І.,
д-р с.-г. наук, проф. (Київ)

ГУДКОВ І.М.,
д-р біол. наук, проф., акад. НААН (Київ)

ДЕМ'ЯНЮК О.С.,
д-р с.-г. наук, проф., чл.-кор. НААН (Київ)

ДОБРЯК Д.С.,
д-р екон. наук, проф., чл.-кор. НААН (Київ)

ЗАЙЦЕВ Ю.О.,
д-р екон. наук, проф. (Київ)

КОНІЩУК В.В.,
д-р біол. наук, проф. (Київ)

КОПІЙ Л.І.,
д-р с.-г. наук, проф. (Львів)

КОСТЕНКО С.О.,
д-р біол. наук, проф. (Київ)

ЛІСОВИЙ М.М.,
д-р с.-г. наук, проф. (Київ)

МУДРАК О.В.,
д-р с.-г. наук, проф. (Вінниця)

НАГОРНЮК О.М.,
канд. с.-г. наук, доцент (Київ)

ПАЛАПА Н.В.,
д-р с.-г. наук, старш. наук. співроб. (Київ)

ПАРФЕНЮК А.І.,
д-р біол. наук, проф. (Київ)

СИМОЧКО Л.Ю.,
канд. біол. наук, доцент (Ужгород)

СИЧОВ М.Ю.,
д-р с.-г. наук, проф. (Київ)

ТАРАРІКО О.Г.,
д-р с.-г. наук, проф., акад. НААН (Київ)

ТЕРТИЧНА О.В.,
д-р біол. наук, старш. наук. співроб. (Київ)

ТКАЧ Є.Д.,
д-р біол. наук, ст. досл. (Київ)

ФУРДИЧКО О.І.,
д-р екон. і с.-г. наук, проф., акад. НААН (Київ)

ЧОБОТЬКО Г.М.,
д-р біол. наук, проф. (Київ)

ШЕРСТОБОЄВА О.В.,
д-р с.-г. наук, проф. (Київ)

ШЕРШУН М.Х.,
д-р екон. наук, доцент (Київ)

ШКУРАТОВ О.І.,
д-р екон. наук, проф. (Київ)

ЮХНОВСЬКИЙ В.Ю.,
д-р с.-г. наук, проф. (Київ)

ВАЛАТ В.,
д-р педаг. наук, проф. (Республіка Польща)

ДУРСУН С.,
д-р філософії, проф. (Туреччина)

КОВАЛЬСЬКА А.,
д-р інж.-техн. наук, доцент (Республіка Польща)

КОЕЛЬО ПІНЕЙРО М.,
д-р філософії, проф. (Португалія)

СОБЧИК В.,
д-р с.-г. наук, проф. (Республіка Польща)

ЙОШІХІКО ОКАБЕ,
д-р екон. наук, проф. (Японія)

КИЇВ • 2024

ЗМІСТ

CONTENTS

Дребот О.І., Палапа Н.В., Діхтяр І.О.
Продовольча безпека — глобальна проблема людства та основні чинники, що впливають на неї 6

Прядка Т.М., Дребот О.І., Комарова Н.В.
Сталий (збалансований) розвиток землекористування — базова основа формування земельного устрою України 18

Мудрак О.В., Мудрак Г.В., Семенів В.С., Антонюк Ю.П., Рябоконь О.В., Герасімова О.В.
Екологічний моніторинг агросфери: теорія, методологія, практика 26

Поліщук В.М.
Системний аналіз європейських маркерів збалансованого природокористування в умовах циркулярності економіки 38

Конякін С.М., Бурда Р.І., Буджак В.В.
Атрибутивний аналіз фракції антропофітів у складі урбанофлори Київської міської агломерації (ступінь натуралізації, інвазійний статус, оцінка загрози для місцевих екосистем і біотичного різноманіття) 53

Бондаренко О.Ю., Назарчук Ю.С., Файрушин Є.Д.
Види рослин, культивовані в ботанічному саду Одеського національного університету імені І.І. Мечникова (за матеріалами MSUD) 62

Діденко В.І., Кічігіна О.О., Постоєнко Д.М., Костіков І.Ю.
Чужорідні види рослин нектароносів у флорі України 72

Васільєв Д.П., Ільєнко Т.В.
Моніторинг процесів опустелювання агроекосистем за супутниковими даними: досвід та перспективи 82

Ільєнко Т.В., Шерстюк Д.М.
Супутниковий моніторинг соснового лісу, ураженого верхівковим короїдом 94

Мудрак О.В., Морозова Т.В.
Цитогенетичний моніторинг спонтанного мутагенезу 107

Левішко А.С., Гуменюк І.І.
Мікробні препарати для контролю чисельності фітофагів: механізми дії та переваги застосування 120

Drebot O., Palapa N., Dikhtyar I.
Food security is a global problem of humanity and the main factors affecting it 6

Priadka T., Drebot O., Komorova N.
Sustainable (balanced) land use development is the basic foundation for the formation of Ukraine's land system 18

Mudrak O., Mudrak H., Semeniv V., Antoniuk Yu., Riabokon O., Herasimova O.
Environmental monitoring of the agrosphere: theory, methodology, practice 26

Polishchuk V.
A systematic analysis of European markers of balanced environmental management under the conditions of economic circularity 38

Koniakin S., Burda R., Budzhak V.
Attributive analysis of the anthropophytes fraction as part of the urban flora of Kyiv urban area (the degree of naturalization, invasive status, threat assessment for local ecosystems and biotic diversity) 53

Bondarenko O., Nazarchuk Yu., Fairushin E.
Species of plants cultivated in the botanical garden of Odesa I. Mechnykov National University (based on MSUD materials) 62

Didenko V., Kichigina O., Postoienko D., Kostikov I.
Alien species of nectar-bearing plants of Ukraine's flora 72

Vasiliev D., Ilienko T.
Monitoring of agroecosystem desertification processes according to satellite data: experience and perspectives 82

Ilienko T., Sherstyuk D.
Satellite monitoring of a pine forest affected by mountain pine beetle 94

Mudrak O., Morozova T.
Cytogenetic monitoring of spontaneous mutagenesis 107

Levishko A., Gumeniuk I.
Microbial preparations for controlling the number of pests (phytophages): mechanisms of action and benefits of use 120

Брощак І.С., Мандрико М.В., Ориник Б.І., Бровко О.З., Гуйван М.Д.
Вплив органічного добрива «ORGANIC MAX» на агрохімічний стан ґрунтів Закарпаття 134

Broshchak I., Mandryko M., Orynyk B., Brovko O., Huivan M.
Influence of «ORGANIC MAX» organic fertilizer on soil condition in Zakarpattia 141

Мазур С.О., Шацман Д.О., Бухтик С.С.
Ефективність мікоризоутворювальних грибів у технології вирощування соняшника (*Helianthus* L.) 156

Mazur S., Buhtik S., Shatsman D.
Impact of mycorrhizal inoculants on soil microbiome during sunflower (*Helianthus* L.) cultivation 164

Болоховський В.В., Бородай В.В., Косовська Н.А., Болоховська В.А., Нагорна О.В., Яковенко Д.О., Кузьмич В.І.
Вплив біопрепаратів Граундфікс та Екостерн на мікробіоту ґрунту за вирощування сої (*Glycine max* L.) 173

Bolokhovskyi V., Borodai V., Kosovska N., Bolokhovska V., Nagorna O., Yakovenko D., Kuzmych V.
Effect of Groundfix and Ecostern biological preparations on soil microbiota under soybean (*Glycine max* L.) cultivation 183

Буслаєва Н.Г., Голодна А.В., Грицюк Я.В.
Прогнозування рівня рентабельності за різних варіантів технології вирощування сої (*Glycine max* L.) 192

Buslayeva N., Golodna A., Hrytsiuk Ya.
Forecasting profitability levels for different soybean (*Glycine max* L.) cultivation technology options 195

Сенчук Т.Ю., Жукорський О.М.
Вплив температурних умов середовища на динаміку збору бджолиної обніжки та пилку квіткового медоносними бджолами

Senchuk T., Zhukorskyi O.
Influence of temperature conditions of the environment on the dynamics of collecting bee pollen and flower pollen by honey bees

Реферати 183 **Abstract**

Відомості про авторів 192 **Information about the authors**

Правила для авторів 195 **Rules for the authors**

УДК 339.9:338.439.05-044.372]:331.522.4 DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311176

ПРОДОВОЛЬЧА БЕЗПЕКА — ГЛОБАЛЬНА ПРОБЛЕМА ЛЮДСТВА ТА ОСНОВНІ ЧИННИКИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА НЕЇ

О.І. Дребот[1], Н.В. Палапа[1], І.О. Діхтяр[2]

[1]Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: drebotoksana@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2681-1074
e-mail: palapa60@ukr.net; ORCID: 0000-0003-3748-6414
[2]Український інститут експертизи сортів рослин (м. Київ, Україна)
e-mail: irs2006@ukr.net; ORCID: 0000-0001-7736-6121

Продовольство, його виробництво, розподіл і споживання — найголовніші елементи світової господарської системи. Значимість продовольчої проблеми визначається насамперед тим, що у структурі потреб людини потреба в їжі є першочерговою. До того ж ступінь її задоволення недостатній. Проблема продовольчої безпеки є однією з найважливіших світових проблем сьогодення. Зростання цін на продовольчу продукцію в умовах світової фінансової кризи призвело до того, що харчові продукти стали недоступними для багатьох сімей, особливо в країнах, що розвиваються. У статті проаналізовано різні наукові підходи, які пояснюють сутність глобальної продовольчої проблеми, місце продовольчої безпеки в системі економічної безпеки держави як її окремої складової. Згідно з опрацьованими матеріалами FAO (Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН), систематизовано сучасні погляди на продовольчу безпеку, як одну з глобальних проблем людства, проаналізовано світовий стан продовольчої безпеки та встановлено основні чинники, що впливають на неї. Встановлено, що найбільше людей, які недоїдають, проживає в Азії (55%), Африці (37), Латинській Америці і Карибському басейні (8%). З'ясовано, що бідність є основним рушієм продовольчої небезпеки. Наведено втрати продовольчої продукції на всіх етапах її просування в ланцюгу постачання (виробництво, транспортування, зберігання та споживання), а також рекомендації FAO щодо способів трансформації продовольчих систем для розв'язання глобальної продовольчої проблеми і «забезпечення доступу усіх верств населення країн світу до доступного та здорового харчування в контексті досягнення цілей сталого та інклюзивного розвитку». Коротко охарактеризовано проблему продовольчого забезпечення і для України. За попередньою оцінкою FAO, прямі втрати активів у галузі сільського господарства внаслідок війни в Україні становлять понад 6,5 млрд дол. США. Наразі втрати доступних посівних площ сягають понад 25%, зрошуваних земель — понад 70, ягідників — близько 25, садів — 20%.

Ключові слова: *забезпечення населення світу продовольством, бідність, голод, втрати продовольства, ланцюги постачання, зростання населення у світі, збройні конфлікти та війни, продуктивність сільського господарства.*

ВСТУП

Проблема гарантування й підтримання належного рівня продовольчої безпеки в умовах глобалізації давно набула загальносвітового масштабу. Починаючи з 70-х років XX ст., коли цивілізований світ зіткнувся зі світовою зерновою кризою, людство зрозуміло необхідність створення глобального механізму забезпечення продовольчої безпеки. Для розв'язання цього завдання було зроблено такі кроки: створено низку спеціальних інституцій, укладено відповідні міжнародно-правові документи, в окремих державах прийнято національні закони про продовольчу безпеку, розроблено й запроваджено Спільну аграрну політику в ЄС, серед Глобальних цілей сталого розвитку проголошено такі цілі, як подолання голоду і бідності, покращання здоров'я тощо (вказані цілі знайшли своє закріплення і в Указі Президента України від 30.09.2019 р. «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» (досягнення продовольчої безпеки, поліпшення харчування і подолання бідності).

© О.І. Дребот, Н.В. Палапа, І.О. Діхтяр, 2024

На даному етапі розвитку людства особливе значення світовою спільнотою приділяється продовольчій проблемі, яка є комплексом інтересів окремої людини, соціальних груп, суспільства та світового співтовариства загалом щодо задоволення потреб людини у харчових продуктах. Значимість продовольчої проблеми, насамперед, визначається тим, що у структурі потреб людини необхідність в їжі є першочерговою. Водночас власне продовольство, його виробництво, розподіл і споживання — найголовніші елементи функціонування світової господарської системи [1; 2].

Питання продовольчої безпеки слід розглядати у двох площинах: як обов'язок держави і як складову її національної безпеки. Згідно з Римською Декларацією про всесвітню продовольчу безпеку, кожна країна повинна забезпечити право людини на повноцінне харчування. У цьому документі зазначені такі складові продовольчої безпеки: фізична й економічна доступність, продовольча незалежність, надійність відносно сезонних і погодних коливань та стійкість зростання виробництва. Інша площина — національна безпека держави вимагає від неї проведення ефективної аграрної політики, створення умов для повноцінного розвитку сільськогосподарської галузі, розбудову розвиненої інфраструктури тощо. Крім того, можливості різних країн у цьому питанні істотно відрізняються [3].

Оскільки продовольча безпека є невід'ємною частиною безпечності харчових продуктів, не слід забувати, що війна, розв'язана Росією проти України, поставила під загрозу продовольчу безпеку не лише України, але й світу загалом. Адже наша країна є потужним виробником якісного продовольства та відіграє важливу роль у його світовому постачанні. І цей факт не залишився поза увагою країни-агресорки і використовується з метою провокації світової стабільності та демонстрації нібито залежності інших країн від Росії.

Проблема продовольчої безпеки стосується майже всіх аспектів функціонування держави: від оборони та готовності боротьби з надзвичайними ситуаціями до перспектив довгострокового розвитку. Крім того, найголовніше, вона пов'язана з якістю нашого життя. За сухими цифрами прихована доля мільйонів людей. Корисний і різноманітний раціон — це здоров'я, а відтак щастя і довголіття кожного. Фінансова доступність — можливість витрачати кошти не лише на харчові продукти, а й задовольнити інші потреби: майно, одяг, відпочинок, освіту, ліки тощо. Це збільшення купівельної спроможності сімей, а тому й зростання попиту на інші нехарчові товари — запорука процвітання наступних поколінь.

Метою наших досліджень було встановити основні чинники, що впливають на одну з глобальних проблем людства — продовольчу безпеку та з'ясувати стан світової продовольчої безпеки.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Світова продовольча безпека вже давно знаходиться під пильною увагою багатьох урядів країн та міжнародних організацій. 18 вересня 2015 р. було ухвалено програмний документ ООН «Перетворення нашого світу: Порядок денний у галузі сталого розвитку на період до 2030 року було ухвалено 17 Цілей сталого розвитку» у рамках якого заявлено Ціль 2 «Покінчити з голодом, забезпечити продовольчу безпеку і поліпшити харчування та сприяти сталому розвитку сільського господарства». Після прийняття зазначеного документа минуло вже майже 9 років, але ситуація не покращується, а навпаки — погіршується. На погіршення світової продовольчої безпеки впливає багато чинників, зокрема пандемія COVID-19, екстремальні кліматичні та погодні умови, озброєні конфлікти, війни, соціально-економічні потрясіння й ін. Продовжує збільшуватися кількість негативних чинників та кількість голодуючого населення планети, результатом чого є погіршення світової продовольчої безпеки [4].

Продовольча безпека є однією з пріоритетних умов розвитку аграрної та економічної політики держави. У загальному

вигляді вона створює умови для ідеального стану національної продовольчої системи країни, тому більшість країн прагнуть до цього стану та постійно займаються питанням ефективного забезпечення свого населення харчовими продуктами.

Аграрний комплекс має величезне соціально-економічне значення, оскільки не лише задовольняє потреби населення у переліку найважливіших харчових продуктів, але й відображає рівень життя у тій чи іншій країні. Водночас необхідно враховувати і той факт, що сучасна ситуація у світі характеризується, з одного боку, наявністю величезної кількості голодуючих у країнах третього світу, з іншого — надлишковим виробництвом харчових продуктів у розвинених країнах, де проживає не більше 20% населення планети [5].

Питанню продовольчої безпеки присвячено достатньо велику кількість праць як вітчизняних (П. Гайдуцький (2005), Н. Шевченко (2011), Р. Кузьо (2012), Н. Волченко (2014), Г. Сиротюк (2015), В. Липчук (2015), М. Сичевський (2019) та ін.), так і зарубіжних науковців (P. Ehrlich (1968), W. Aykroyd (1975), F. Lapi, J. Collins, P. Rosset (1998) та ін.).

Варто наголосити на тому, що існують різні наукові підходи, які пояснюють сутність глобальної продовольчої проблеми. Багато вчених дотримуються думки, що неефективне державне управління лежить в основі проблеми нестачі харчових продуктів.

А. Сміт у своїй книзі «Дослідження про природу і причини багатства народів» у 1776 р. зазначав, що «ціна хліба, хоча і в усі часи підвладна коливанням, найбільше коливається в тих неспокійних і невпорядкованих державах, де розлад будь-якої торгівлі та зв'язків заважає тому, щоб достаток в одній частині країни полегшувало брак в іншій» і що «голод ніколи не виникав з якоїсь іншої причини, як у результаті насильницьких заходів уряду, який намагався непридатними засобами усунути незручності дорожнечі».

Відомий економіст, лауреат Нобелівської премії з економіки у 1998 р. А. Сен також поділяв думку А. Сміта і доводив, що у переважній більшості випадків голод був викликаний не браком їжі, а проблемами розподілу продовольства [6], а велика кількість жертв голодомору — це результат великомасштабних помилок суспільства [7] та водночас наголошував, що жодного разу голод із великою кількістю жертв не виникав у демократичній країні. Один з основних чинників, який посилює негативний вплив голоду на суспільство, він визначав цензуру і підкреслював, що голод виникає набагато рідше у тих країнах, де доступ до інформації штучно не обмежується владою.

Авторами О.В. Черевко та О.В. Яковенко (2016) [8] встановлено місце продовольчої безпеки в системі економічної безпеки держави як її окремої складової. Систематизовано основні показники, на основі яких доцільно здійснювати оцінювання стану продовольчої безпеки окремих регіонів та держави загалом.

В. Дудар [9] розкриває сутність поняття «продовольча безпека» і її роль у забезпеченні економічної безпеки держави, яке трактується як здатність держави гарантувати і задовольняти потреби людей у якісних та безпечних харчових продуктах на рівні науково обґрунтованих норм споживання для підтримання активного й здорового способу життя усіх верств населення. Вченим виявлено, що доступність харчових продуктів обмежується штучно створеною низькою платоспроможністю населення та здійснено оцінку стану продовольчої безпеки на рівні країни.

Л.Г. Каїра [10] проаналізовано питання продовольчої безпеки та основні підходи до оцінки продовольчої безпеки на глобальному рівні; висвітлено результати досліджень міжнародних рейтингових організацій щодо визначення, оцінки та прогнозування загроз у продовольчій сфері; представлено структурну характеристику універсального глобального індексу, який є динамічною кількісно-якісною моделлю оцінювання рівня продовольчої безпеки; встановлено низку чинників, які вплинули на загальну ситуацію з питань

продовольчої безпеки у світовому масштабі та на зміну глобального індексу продовольчої безпеки України.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У дослідженнях використано методичний інструментарій, що включає економіко-статистичний метод, порівняльний аналіз, синтез, узагальнення та метод експертних оцінок.

На основі аналізу наукових джерел та матеріалів FAO (Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН) систематизовано сучасні погляди на продовольчу безпеку, як одну з глобальних проблем людства, проаналізовано світовий стан продовольчої безпеки та встановлено основні чинники, що впливають на неї.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

З розвитком техніки і технологій, науково-технічного прогресу з'являються і глобальні проблеми, які безпосередньо впливають на середовище проживання людини та людство взагалі.

Глобальними називають проблеми, які стосуються всього світу, призводять до значних, нерідко незворотних соціально-економічних і біологічних втрат на планеті, створюють загрозу існуванню людства і потребують для свого розв'язання координованої співпраці всіх країн. Серед сучасних глобальних проблем розрізняють кілька груп: політичні, етнічні, демографічні, економічні, соціальні, продовольчі, екологічні. Серед них, своєю чергою, виокремлюють вужчі аспекти, що впливають на окремі сторони життя людства. Наприклад, проблема етнічних воєн, енергетична проблема, проблеми освіти та охорони здоров'я тощо. Водночас чіткого поділу немає: усі глобальні проблеми взаємопов'язані, навіть часткове розв'язання однієї може кардинально вплинути на іншу. На теперішньому етапі розвитку суспільства загострилися політичні питання, особливо проблема збереження миру. Водночас слід усвідомлювати, що серед глобальних проблем немає важливих чи другорядних. Усі вони потребують нагального розв'язання, доброї волі народів, керівників держав, національних і релігійних лідерів, значних матеріальних та фінансових затрат (*табл. 1*) [11].

Одна з глобальних проблем, яка напряму впливає на забезпечення продовольчої безпеки у світі — демографічна. Найбільша кількість населення у Китаї та Індії, що становить майже 36% усього населення Землі (див. *табл. 1*). І ці дві країни посідають дві перші сходинки за кількістю населення.

Таблиця 1. **Глобальні проблеми людства** [11]

Політичні	Соціальні	Економічні	Продовольчі	Екологічні	Демографічні	Етнічні
Проблема збереження миру	Проблеми охорони здоров'я	Сировинна проблема	Проблема голоду і недоїдання	Забруднення атмосфери	Демографічний «вибух»	Низький рівень етнонаціональної політики
Екстремізм	Проблеми освіти	Енергетична проблема	Проблема перевиробництва	Забруднення гідросфери	Проблема старіння націй	Загострення й зіткнення інтересів націй і етнічних груп
Міжнародний тероризм	Проблеми злочинності	Подолання відсталості країн, що розвиваються	Проблема забезпечення населення вітамінами	Деградація земель	Висока смертність дітей	Внутрі- й міжнаціональні конфлікти

Закінчення таблиці 1

Політичні	Соціальні	Економічні	Продовольчі	Екологічні	Демографічні	Етнічні
Регіональні конфлікти	Проблеми нарко- та алкозалежності			Знищення біорізноманіття	Міграція населення внаслідок воєнних конфліктів	Проблема етнічних війн
Гібридні війни						

В інших 8-ми країнах з 10-ти проживає від 1,73 до 4,34% населення від населення всієї планети. Україна займає 38 місце за кількістю населення з показником 42 млн осіб. Однак, враховуючи те, що останній перепис населення в Україні відбувся у 2001 р., пандемію COVID-19 та повномасштабну загарбницьку війну, що розв'язала Росія, і яка вже третій рік в Україні вбиває як наших військових, так і цивільне населення, то наразі вже не 42 млн осіб.

За прогнозами ООН щодо зростання населення світу, зробленими на початку 2000-х років у розрізі регіонів, найбільше населення проживає в Африці та Азії. Якщо станом на 2010 р. у цих двох регіонах проживало 75,1% усього населення планети, то у 2050 р. на території цих двох регіонів проживатиме 78,7% усього населення Землі. І якщо подивитися у динаміці, починаючи з 2010 р., кількість населення в Азії, Африці, Латинській і Північній Америці та Океанії зростатиме, то в Європі — знижуватиметься (*табл. 2*).

За оновленими у доповіді ООН 2019 р. даними, впродовж найближчих 30 років населення Землі зросте на 2 млрд осіб і до 2050 р. досягне 9,7 млрд, а у 2100 р. — 11,2 млрд осіб [12]. 50% приросту населення впродовж подальших трьох десятиліть нададуть дев'ять країн — Індія, Нігерія, Пакистан, ДР Конго, Ефіопія, Танзанія, Індонезія, Єгипет і США. За прогнозами аналітиків, у 2027 р. Індія лишить позаду себе Китай і посяде перше місце у світі за чисельністю населення. Кількість жителів Тропічної Африки до 2050 р. подвоїться.

Якщо ці прогнози реальні, то кількість продовольства для такої чисельності населення має у 2050 р., порівняно із сьогоднішнім рівнем, збільшитися на 60%. Крім того, на фоні певних успіхів упродовж останніх двадцяти років щодо скорочення від 17 до 11% частки населення світу, яке хронічно

Таблиця 2. **Топ 10 країн світу за кількістю населення (за даними ООН, 2019 р.)**

№	Країна	Кількість населення, млн осіб	Відсоток від населення Землі	Регіон
1	Китай	1 394,4	18,16	Азія
2	Індія	1 356,4	17,66	Азія
3	США	333,3	4,34	Америка
4	Індонезія	269,5	3,51	Азія
5	Пакистан	213,3	2,78	Азія
6	Бразилія	209,4	2,73	Америка
7	Нігерія	200,1	2,53	Африка
8	Бангладеш	168,0	2,19	Азія
9	Росія	146,9	1,91	Євразія
10	Мексика	133,1	1,73	Америка
38	Україна	42,0	0,55	Європа

голодує, нині маємо ситуацію, коли абсолютна кількість голодуючих зростає.

Починаючи з 2020 р. продовольча безпека в усьому світі значно погіршилася. Основною причиною стала всесвітня пандемія COVID-19, через яку кількість голодуючих осіб почала стрімко збільшуватись по всій планеті. Основний негативний вплив проявився у зменшенні доходів населення та зростанні цін на продовольство.

За оцінками FAO на початку пандемії COVID-19 у 2020 р. від 720 до 811 млн жителів планети зіткнулися із проблемами недостатнього продовольчого забезпечення (в середньому 768 млн осіб). У 2019 р. 690 млн людей у світі (8,9%) недоїдали, а 8,2% світового населення жили в бідності. Порівняно з 2019 р. у 2020 р. від голоду в Африці постраждало на 46 млн людей більше, майже на 57 млн — в Азії, приблизно на 14 млн людей більше в Латинській Америці та Карибському басейні. Найбільше від недоїдання потерпало населення в країнах Азії (418 млн), Африки (282 млн), а також у Латинській Америці і Карибському регіоні (60 млн) осіб (*рис. 1*) [13–15].

Глобальна продовольча проблема полягає у спроможності Землі прогодувати

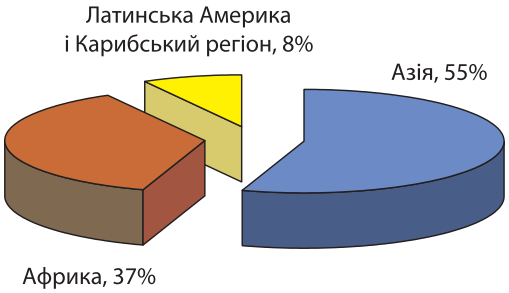


Рис. 1. Частка людей у світі, яке не доїдає

теперішнє і майбутні покоління. Декларація FAO (Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН) так формулює поняття продовольчої безпеки мешканців планети: «Продовольча безпека людей — це повсякчасний фізичний та економічний доступ людей до безпечної та поживної їжі, необхідної для задоволення їхніх харчових уподобань і дієтичних потреб, що забезпечує активний і здоровий спосіб життя». Не всі держави можуть гарантувати продовольчу безпеку своїм громадянам. Майже 800 млн людей щодня голодують, ще 2 млрд потерпають від дефіциту мікроелементів (*рис. 2*).

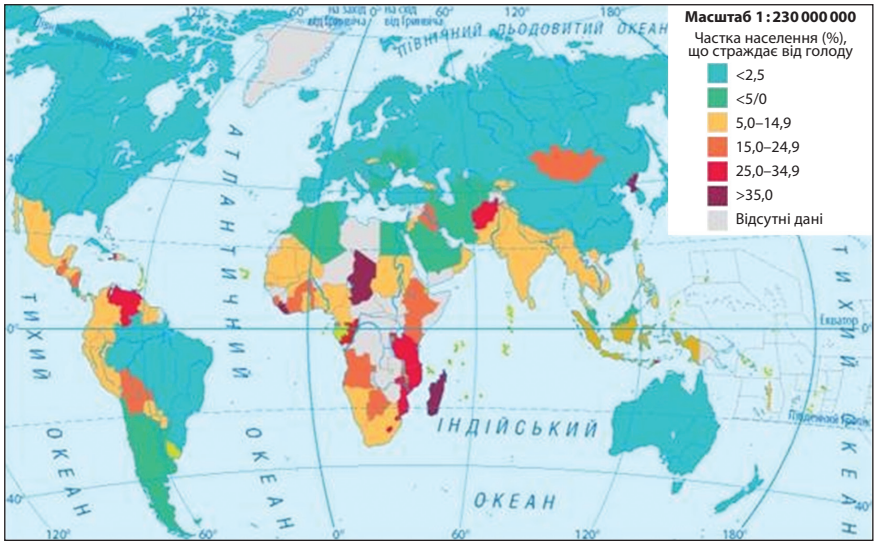


Рис. 2. Поширення голоду у світі (2020 р.)

Примітка: https://vchys.com.ua/geography/images/25/images_files/image181.jpg.

Сільське господарство і продовольча безпека нерозривно пов'язані між собою. Сільськогосподарський сектор у кожній країні залежить від наявних природних і людських ресурсів, а також від політики тієї чи іншої держави. Уся проблема в тому, що 80% голодуючих у світі прямо залучені до виробництва харчових продуктів. Саме аграрні країни більше за інших схильні до голоду. Адже справа не стільки у кількості їжі, скільки у купівельній спроможності населення.

Бідність на міжнародному рівні визначається як життя менш ніж на 1,90 дол. США на день. **Бідність, а не наявність харчових продуктів є основним рушієм продовольчої небезпеки.** Підвищення продуктивності сільського господарства необхідне для збільшення доходів сільських домогосподарств та доступу до доступної їжі, але є недостатнім для забезпечення продовольчої безпеки. Докази свідчать про те, що скорочення бідності та продовольча безпека не обов'язково рухаються у парі. Основною проблемою є відсутність економічного (соціального та фізичного) доступу до харчових продуктів на національному й побутовому рівнях та недостатнє харчування. Продовольча безпека не тільки вимагає достатнього запасу продовольства, але також передбачає наявність, доступ і використання всіма людьми різного віку, статі, етнічної приналежності, релігії та соціально-економічного рівнів [16].

Зонами критичної продовольчої ситуації у світі є країни Африки, розташовані на південь від Сахари (за винятком держави Південна Африка), країни Південної і Південно-Східної Азії. Найскладнішою є ситуація в межах «полюсу голоду» — території близько 20-ти країн Тропічної Африки, в яких дуже високі темпи приросту населення і низькі темпи приросту виробництва продовольства. Середньодобова забезпеченість їжею у цих країнах оцінюється на 35–45% меншою від рекомендованих FAO норм. Причиною голоду є неспроможність країн, що розвиваються, виробляти продукти або купувати їх на зовнішніх ринках через примітивну аграрну культуру, складність природних умов і скромні державні доходи. У деяких країнах голод спричинений масштабними збройними конфліктами (Сирія) чи витратою економічних ресурсів на військові, а не нагальні людські потреби (КНДР, що посідає останнє місце в рейтингу країн за середньою калорійністю добового раціону людини).

Таблиця 3. **Глобальні продовольчі втрати в ланцюгу постачання (торгівлі)**

Частка втрат продовольства в торгівлі, %	Кількість країн
1,5–2,5	56
2,5–3,5	69
3,5–4,5	39
4,5–5,5	4
Понад 5,5	2
У середньому 3,0	170

Примітка: за даними інформації FAO.

За даними Всесвітнього економічного форуму, понад 3 млрд людей не можуть собі дозволити здорове харчування, а більше 1,5 млрд людей — їжу з мінімальним рівнем основних поживних речовин. Не зважаючи на те, що людям не вистачає їжі, продовольчі системи поступово сприяють зміні клімату, викидаючи до 1/3 глобальних парникових газів. У світовому масштабі вони здійснюють вирубку тропічних лісів на 80% і є основною причиною деградації ґрунтів і опустелювання, дефіциту води та зниження біорізноманіття [17].

За експертними оцінками у ланцюгу постачання втрачається понад 3,5% усього продовольства. Найбільші втрати в Руанді (6,4%), Індії (5,6), Гані (5,2), Габоні (5), Алжирі (4,6), Єгипті (4,4%) та інших країнах переважно Африки, Латинської Америки та Карибського басейну (*табл. 3*). До того ж найменший показник втрат у Німеччині, Швейцарії, Бельгії, Чехії, Словаччині, Болгарії, Кіпрі, Угорщині, Сербії, Японії та інших країнах і коливається в межах 1,5–2,5%.

Згідно з даними експертів із продовольчих систем UNEP та некомерційної організації WRAP, 17% усієї доступної для

споживання людиною їжі витрачаються даремно. Вказана втрата харчових продуктів відбувається по всьому ланцюжку постачання харчових продуктів — від збирання врожаю до роздрібної торгівлі. Щороку у світі втрачається близько 1 млрд т харчових продуктів. З них 30% зернових, 40–50% коренеплодів, фруктів та овочів, 20% м'яса та молочних продуктів, а також 35% риби псується на кожному етапі ланцюга постачання від виробника до споживача.

В одних країнах (переважно у Північній Америці, Європі та на Далекому Сході) мешканці регулярно викидають придатну для вживання їжу, адже виробляють і купують її більше, ніж з'їдають. У той самий час в інших регіонах (Африці, Південній Америці, на Близькому Сході і Південній Азії) люди недоїдають — у них занадто мало грошей, щоб купити їжу. Останню викидають усі: і виробники, і продавці, і споживачі. І в такому випадку, загалом, має бути розподіл продовольства за потребами. Однак тут виникає проблема: порушуються логістичні ланцюги. Практично неможливо доставити необхідну кількість тієї чи іншої продукції з одного кінця планети в інший.

У країнах, що розвиваються, пропадає третина врожаю через відсутність складів, холодильного устаткування і транспортних засобів, втрачається під час збору врожаю та його зберігання внаслідок недостатнього технічного оснащення, знищується шкідниками, а в індустріальному світі споживачі і продавці викидають стільки ж готової їжі, що становить 1,3 млрд т на рік [18].

Втрати продовольчої продукції відбуваються на кожному із чотирьох етапів її просування в ланцюгу постачання: виробництво, транспортування, зберігання та споживання [17].

Досить значна частка аграрної продукції втрачається ще на етапі її виробництва. Основні причини: застаріла агротехніка і технології, що зменшує потенційний врожай та не дозволяє ефективний догляд за ним, а також призводить до втрат під час його збирання. Порушення технології збирання зумовлює від 10 до 20% втрат, а в несприятливих умовах навіть до 30% і більше вирощеного врожаю. Під час транспортування псується до 40% продуктів. Основні причини: неправильне розміщення на полицях усередині вантажного транспорту; порушення температурного режиму; великі відстані, які доводиться долати від полів до кінцевих споживачів.

На псування продукції на етапі зберігання впливає мінливість попиту, нестача складів із наявністю холодильних установок та недотримання температурних режимів, обмежений термін придатності. Залежність від транспортування продовольства з країни в країну також впливає на продовольчу безпеку. Наприклад, повне припинення постачання, що сталося через закриття кордонів у зв'язку з пандемією і навіть заборона експорту деякими країнами є однією із причин загострення нинішньої глобальної продовольчої кризи. Інший аспект цієї проблеми — це бідність населення країн світу.

Ще один аспект продовольчої проблеми — це надто низька продуктивність сільського господарства в багатьох країнах світу. Про це свідчить аналіз урожайності пшениці, яка залишається глобальною стратегічною продовольчою культурою для мільярдів людей по всьому світу.

Лише одна третина країн світу здатна гарантувати прийнятний рівень продуктивності вирощування пшениці понад 4,4 т/га, який забезпечує раціональний мінімум продовольчих потреб власного населення (*табл. 4*).

Більшість країн світу неспроможні забезпечити себе пшеницею через низьку продуктивність функціонування продовольчих систем, яка зумовлена недостатнім рівнем використання добрив та застосування високопродуктивних сортів сільськогосподарських культур. До того ж світовий досвід свідчить про значні можливості підвищення продуктивності вирощування сільськогосподарських культур, які дають змогу знизити ризики глобальної продовольчої кризи.

Відсутність достатньої кількості їжі негативно впливає на здоров'я, здатність

Таблиця 4. **Ефективність вирощування пшениці у світі**

Середня урожайність, т/га	Кількість країн
0,40–1,40	21
1,40–2,40	29
2,40–3,40	26
3,40–4,40	13
4,40–5,40	10
5,40–6,40	13
6,40–7,40	6
7,40–8,40	3
8,40–9,40	2
9,40–10,40	1
У середньому 6,73	124

Примітка: за даними інформації FAO.

здобувати освіту та заробляти на життя, а також спроможність громад процвітати. У звіті FAO рекомендовано шість способів трансформації продовольчих систем для розв'язання глобальної продовольчої проблеми і «забезпечення доступу всіх верств населення країн світу до доступного та здорового харчування в контексті досягнення цілей сталого та інклюзивного розвитку»:

- інтеграція гуманітарної політики, сталого розвитку та міжнародної підтримки в регіонах, що постраждали від конфліктів;
- підвищення стійкості до зміни клімату в продовольчих системах;
- посилення витривалості найбільш уразливих до економічних негараздів верств населення;
- втручання в ланцюги постачання харчових продуктів для зниження вартості поживних харчових продуктів;
- боротьба з бідністю та структурною нерівністю, забезпечення заходів на користь бідних та інклюзивних;
- зміцнення харчового середовища та зміна поведінки споживачів для просування моделей харчування з позитивним впливом на здоров'я людини та навколишнє середовище.

Глобальна зміна клімату, ріст населення, зростання цін на харчові продукти та стихійні лиха впливають на продовольчу безпеку та провокують світову продовольчу кризу.

Зберігає свою актуальність ця проблема і для України. Відповідно до Глобального індексу продовольчої безпеки Україна, отримавши згідно з даними Держстату України у 2021 р. рекордний урожай зернових і олійних культур (107 млн т), посіла лише 54 місце, маючи високі показники доступності, якості й безпечності, але значно поступаючись іншим державам у показнику «ресурси і сталий розвиток». Фактично саме цей показник і не дав змоги Україні посісти вищі місця у Глобальному індексі продовольчої безпеки. Сьогодні, в умовах повномасштабної війни Росії проти України, ситуація тільки погіршується. Весь світ спостерігає за тим, як ворог нищить аграрний потенціал нашої країни, як палають у пожежах десятки й сотні гектар урожаю зернових культур тощо. Все це створює реальну загрозу продовольчої кризи як на внутрішньому, так і на регіональному та глобальному рівнях. І саме ці події дали змогу оцінити справжню роль України у забезпеченні продовольчої безпеки світу, зрозуміти, що наша держава фактично виступає одним з гарантів глобальної продовольчої безпеки [19].

Війна не тільки принесла горе і смерті, примусила мільйони українців залишити свої домівки, але й завдала величезних збитків нашим аграріям і зумовила появу нових загроз у сфері продовольчої безпеки. Внаслідок ракетно-артилерійських обстрілів зафіксовано загибель стад сільськогосподарських тварин (очікується втрата до 30% поголів'я), знищено або пошкоджено тваринницькі ферми, сільськогосподарську техніку, об'єкти аграрної інфраструктури: сільськогосподарської, складської, транспортної, енергетичної, переробної промисловості (зокрема, зерносховища, елеватори), меліоративні системи і споруди, врожай сільськогосподарських культур, ліси, виноградники, сади, значної шкода завдано ґрунтам.

За попередньою оцінкою FAO, прямі втрати активів у галузі сільського госпо-

дарства внаслідок війни в Україні становлять понад 6,5 млрд дол. США. Наразі втрати доступних посівних площ становлять понад 25%, зрошуваних земель — понад 70, ягідників — близько 25, садів — 20%. Отже, повномасштабна війна на території України створює неабиякі загрози не тільки у сфері ведення агробізнесу, але й у сфері забезпечення продовольчої безпеки не тільки України, а й значної кількості інших держав.

Україна відіграє важливу роль у гарантуванні продовольчої безпеки у світі, але наразі, стикнувшись із проблемою забезпечення себе необхідним мінімумом продовольства за окремими групами харчових продуктів та логістичними проблемами може експортувати значно менші обсяги сільськогосподарської продукції. Поряд із загальною глобалізацією світових ринків продовольства, національні продовольчі системи стають дедалі більш інтегрованими, взаємопов'язаними та взаємозалежними, на сьогодні 4/5 населення Землі (6,4 млрд осіб) щодня повністю або частково харчуються за рахунок імпорту продовольства [20].

Отже, не зважаючи на розвиток технологій, зростання рівня розвитку індустріальних країн та збільшення запасів продовольчих товарів, проблема голоду в світі й досі залишається не вирішеною.

ВИСНОВКИ

Однією з найгостріших і найважливіших проблем сучасних економічних відносин продовжує залишатися продовольча проблема. В основі виникнення глобальної продовольчої проблеми лежить багато чинників, які так чи інакше впливають на її стан у певних регіонах світу. Найбільш значущими з них, на нашу думку, є низький рівень життя більшості населення країн, що розвиваються, супроводжуваний бідністю. Не варто забувати і про інші чинники, що пов'язані з глобальною зміною клімату, родючістю ґрунтів та їх забрудненням, збільшенням населення планети, зростанням цін на харчові продукти та стихійні лиха, а також недостатнє державне регулювання сфери продовольчого забезпечення у багатьох країнах, що розвиваються. Крім того, сільське господарство стикається з двома величезними і суперечливими труднощами: необхідністю забезпечити якісною та екологічно безпечною їжею зростаюче населення планети, яке за оцінками аналітиків ООН до 2030 р. сягне 8,5 млрд та збереженням навколишнього середовища. На наш погляд, один із шляхів вирішення проблем — використання інноваційних технологій на всіх етапах (виробництво, транспортування, зберігання та споживання) з метою забезпечення продуктивності і стійкості продовольчих систем в усьому світі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Трансформація міжнародних економічних відносин в епоху глобалізації: кол. моногр. / за ред. А.П. Голікова, О.А. Довгаль. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2015. 347 с.
2. Палапа Н.В., Дем'янюк О.С., Нагорнюк О.М. Продовольча безпека України: стан та актуальні питання сьогодення. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 2. С. 34–45. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2022.263314.
3. Що таке світова продовольча безпека і чому Україна посідає 63 місце у рейтингу. URL: https://bakertilly.ua/id44424/.
4. Кучечук Л.В. Світова продовольча безпека: тенденції та виклики. *Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. Сер.: Міжнароднівідносин. Економіка. Країнознавство. Туризм*. 2022. № 16. С. 34–40. DOI: https//doi.org/10.26565/2310-9513-2022-16-04.
5. Гмиря В.П. Продовольча безпека як головний вектор розвитку економіки країни. *Регіональна економіка*. 2019. Вип. 6 (140). С. 8–13. DOI: https://doi.org/10.36818/2071-4653-2019-6-2.
6. Sen A. Poverty and Famines: an Essayon Entitlement and Deprivation. Oxford: Clarendon Press, 1981. 257 p.
7. Dreze J. and Sen A. Hunger and Public Action. Oxford: Clarendon Press, 1989. 373 p.
8. Черевко О.В., Яковенко О.В. Основні фактори впливу на продовольчу безпеку регіону як основу національної безпеки. *Економіка та держава*. 2016. № 12. С. 68–71.
9. Дудар В. Продовольча безпека України та складові її забезпечення у контексті економічної безпеки держави. *Вісник ТНЕУ*. 2016. № 2. С. 20–32.
10. Каїра Л.Г. Продовольча безпека: оцінка сучасного стану. *Інтелект XXI*. 2023. № 1. С. 16–20. DOI: https://doi.org/10.32782/2415-8801/2023-1.3.
11. Продовольча та екологічна безпека України в умовах воєнного стану: кол. моногр. / за ред.

О.І. Дребот. Київ: Вид-во НУБіП України, 2022. 266 с.
12. Світові демографічні прогнози 2019: ключові моменти: доповідь ООН. URL: https://news.un.org/en/story/2019/06/1040621.
13. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: http://www.fao.org/about/en/.
14. Boero V., Cafiero C., Gheri F. et al. Access tofoodin 2020. Results of twenty national surveys using the Food Insecurity Experience Scale (FIES). Rome, FAO. 2021. 95 p.
15. ФАО, МФСР, ЮНИСЕФ, ВПП и ВОЗ. 2021. Краткий обзор. Положение дел в области продовольственной безопасности и питания в мире — 2021. Преобразование продовольственных систем в интересах обеспечения продовольственной безопасности, улучшения питания и экономической доступности здоровых рационов питания для всех. Рим, ФАО, 2021. URL: https://doi.org/10.4060/cb5409ru.
16. Продовольча безпека. URL: https://ukrayinska.libretexts.org/.
17. Глобальна продовольча безпека: старі проблеми, нові виклики та ефективні рішення. URL: https://www.growhow.in.ua/hlobalna-prodovolcha-bezpeka-stari-problemy-novi-vyklyky-ta-efektyvni-rishennia/.
18. Продовольча безпека планети. URL: http://www.jimagazine.lviv.ua/2015/Prodovolcha_bezpeka_planety.htm.
19. Курман Т.В. Продовольча безпека: проблеми правового забезпечення в умовах глобалізації і воєнного стану. *Дискусійна панель VI Харківського міжнародного юридичного форуму*: матеріали тез доповідей учасників (м. Харків, 07 жовт. 2022 р.). Харків, 2022. С. 64–68.
20. Продовольча безпека: світові тенденції та можливості агропродовольчого комплексу України: кол. моногр. / за ред. Л.В. Шинкарук. Київ, 2022. 307 с.

REFERENCES

1. Holikova, A.P. & Dovhal', O.A. (Eds.). (2015). *Transformatsiya mizhnarodnykh ekonomichnykh vidnosyn v epokhu hlobalizatsiyi: kolektyvna monohrafiya [Transformation of international economic relations intheera of globalization: a collective monograph]*. Kharkiv: KHNU imeni V.N. Karazina [in Ukrainian].
2. Palapa, N.V., Demyanyuk, O.S. & Nagornyuk, O.M. (2022). Prodovol'cha bezpeka Ukrayiny: stan ta aktual'ni pytannya s'ohodennya [Food security of Ukraine: current state and current issues]. *Ahroekolohichnyy zhurnal — Agroecological journal, 2*, 34–45. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2022.263314 [in Ukrainian].
3. Shcho take svitova prodovol'cha bezpeka i chomu Ukrayina posidaye 63 mistse u reytynhu [What is global food security and why Ukraine ranks 63rd in the ranking]. (n.d.). URL: https://bakertilly.ua/id44424/ [in Ukrainian].
4. Kuchechuk, L.V. (2022). Svitova prodovol'cha bezpeka: tendentsiyi ta vyklyky [World food security: trends and challenges]. *Visnyk KHNU imeni V.N. Kapazina. Sepiya: Mizhnapodnividnosyn. Ekonomika. Kpayinoznavstvo. Tupyzm — Herald of V.N. Kapazin KhNU. Sepia: International relations. Economy. Country studies. Tupism, 16*, 34–40. DOI: https//doi.org/10.26565/2310-9513-2022-16-04 [in Ukrainian].
5. Hmyrya, V.P. (2019). Prodovol'cha bezpeka yak holovnyy vektor rozvytku ekonomik ykrayiny [Food safety as the main vector of economic development of the country]. *Rehional'na ekonomika — Regional economy, 6 (140)*, 8–13. DOI: https://doi.org/10.36818/2071-4653-2019-6-2 [in Ukrainian].
6. Sen, A. (1981). Poverty and Famines: an Essay on Entitlement and Deprivation. Oxford: Clarendon Press [in English].
7. Dreze, J. (1989). Hunger and Public Action. Oxford: Clarendon Press [in English].
8. Cherevko, O.V. & Yakovenko, O.V. (2016). Osnovni faktory vplyvu na prodovol'chu bezpeku rehionu yak osnovu natsional'noyi bezpeky [The main factors influencing the food security of the region as the basis of national security]. *Ekonomika ta derzhava — Economy and the state, 12*, 68–71 [in Ukrainian].
9. Dudar, V. (2016). Prodovol'cha bezpeka Ukrayiny ta skladovi yiyi zabezpechennya u konteksti ekonomichnoyi bezpeky derzhavy [Food security of Ukraine and components of its provision in the context of economic security of the state]. *Visnyk TNEU — Herald of TNEU, 2*, 20–32 [in Ukrainian].
10. Kayira, L.H. (2023). Prodovol'cha bezpeka: otsinka suchasnoho stanu [Food security: an assessment of the current state]. *Intelekt XXI — Intelligence XXI, 1*, 16–20. DOI: https://doi.org/10.32782/2415-8801/2023-1.3 [in Ukrainian].
11. Drebot, O.I., Bendasyuk, O.O. & Palapa, N.V. (2022). *Prodovol'cha ta ekolohichna bezpeka Ukrayiny v umovakh voyennoho stanu: monohrafiya [Food and environmental security of Ukraine under martial law: monograph]*. Kyiv [in Ukrainian].
12. Svitovi demohrafichni prohnozy 2019: klyuchovi momenty: Dopovid' OON [World Demographic Projections 2019: Key Points: UN report]. (2019). URL: https://news.un.org/en/story/2019/06/1040621 [in Ukrainian].
13. Foodand Agriculture Organization of the United Nations. URL: http://www.fao.org/about/en/ [in English].
14. Boero, V., Cafiero, C., Gheri, F. et al. (2021). Access tofoodin 2020. Results of twenty national surveys using the Food Insecurity Experience Scale (FIES). Rome, FAO [in English].
15. FAO, MFSR, YUNISEF, VPP i VOZ (2021). Kratkij obzor. Polozhenie del v oblasti prodovol'stvennoj bezopasnosti i pitaniya v mire — 2021. Preobrazovanie prodovol'stvennyh sistem v interesaho bespecheniya prodovol'stvennoj bezopasnosti, uluchsheniya pitaniya i ekonomicheskoj dostupnosti zdorovyh racionov pitaniya dlya vsekh [Brief overview. The State of Food

Security and Nutrition in the World 2021: Transforming food systems to achieve food security, improved nutrition and the affordability of healthy diets for all]. Rim, FAO. URL: https://doi.org/10.4060/cb5409ru [in Russian].
16. Prodovol'cha bezpeka [Food safety]. (n.d.). URL: https://ukrayinska.libretexts.org/ [in Ukrainian].
17. Hlobal'na prodovol'cha bezpeka: stariproblemy, novi vyklyky ta efektyvni rishennya [Global Food Security: Old Problems, New Challenges, and Effective Solutions]. (n.d.). URL: https://www.growhow.in.ua/hlobalna-prodovolcha-bezpeka-stari-problemy-novi-vyklyky-ta-efektyvni-rishennia/ [in Ukrainian].
18. Prodovol'cha bezpeka planety [Food security of the planet]. (2015). URL: http://www.jimagazine.lviv.ua/2015/Prodovolcha_bezpeka_planety.htm [in Ukrainian].
19. Kurman, T.V. (2022). Prodovol'cha bezpeka: problemy pravovoho zabezpechennya v umovakh hlobalizatsiyi i voyennoho stanu [Food security: problems of legalprovisioninthe conditions of globalization and martiallaw]. *Dyskusiyna panel VI Kharkivs'koho mizhnarodnoho yurydychnoho forumu: materialy tez dopovidey uchasnykiv [Discussion panel of the VI Kharkiv International Legal Forum: abstracts of reports of participants]*. (pp. 64–68). Kharkiv [in Ukrainian].
20. Shinkaruk, L.V. (Ed.). (2022). *Prodovol'cha bezpeka: svitovi tendentsiyi ta mozhlyvosti ahroprodovol'choho kompleksu Ukrayiny: kolektyvna monohrafiya [Food security: global trends and opportunities of the agri-food complex of Ukraine: a collective monograph]*. Kyiv [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 27.06.2024

УДК 332.2.021:332.3 DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311177

СТАЛИЙ (ЗБАЛАНСОВАНИЙ) РОЗВИТОК ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ — БАЗОВА ОСНОВА ФОРМУВАННЯ ЗЕМЕЛЬНОГО УСТРОЮ УКРАЇНИ

Т.М. Прядка[1], О.І. Дребот[2], Н.В. Комарова[1]

[1]Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)
e-mail: 1435351@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6179-0128
e-mail: komarova_nv@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9347-455X

[2]Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: drebotoksana@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2681-1074

У статті розглянуто ключові аспекти сталого землекористування як основи для ефективного розвитку сільських територій та громад. Збалансоване землекористування слід розглядати через призму розвитку земельного устрою та впровадження інтегрованого управління земельними ресурсами. Надмірна інтенсифікація сільського господарства та швидке розширення міст зумовлюють втрату корисних функцій земель, що викликає їх деградацію. У ході дослідження було оцінено екологічну стабільність територій, виявлено незадовільний стан екологічної стабільності в Україні, що пов'язано з високим рівнем розораності земель (68,4%). Зазначено, що для збереження та відновлення землі як унікального природного ресурсу необхідне активне втручання державних органів із метою стимулювання заходів щодо охорони та відновлення земельних ресурсів шляхом впровадження ефективних екологічних ініціатив. Через прогресуючу ерозію щороку втрачається близько 40–50 млрд грн. Запропоновано розробити концептуальну стратегію розвитку екологічності земельного устрою на законодавчому рівні, а також під час реформування земельних відносин з акцентом на екологізацію організаційно-господарської перебудови системи земельного устрою в країні, регіонах і новоутворених територіальних громадах. Екологічно стійке землекористування можливе лише за умов упровадження досягнень науково-технічного прогресу та орієнтації економіки на екологічні принципи на загальнодержавному, регіональному й місцевому рівнях. Сталий розвиток землекористування означає не лише ефективне використання земельних ресурсів, але й створення відповідної земельної інституційної структури та сприятливого середовища для управління земельними ресурсами, а також формування суспільних відносин, що сприяють раціональному застосуванню екосистем під час збереження балансу між екологічними, економічними й соціальними складовими. У процесі розробки підходів до переходу на сталий земельний устрій, а також до сталих земельних відносин і землекористування, важливо зберігати оптимальний баланс між територіями, що зазнали впливу господарської діяльності, і тими, які залишилися недоторканими. Не порушені господарською діяльністю земельні ділянки слід розглядати як стабілізаційний чинник, що нейтралізує антропогенні впливи на ландшафт.

Ключові слова: *деградація земель, екологічна незбалансованість, екологізація, земельні ресурси, оцінка екологічної стабільності, сільські території, територіальні громади.*

ВСТУП

Проблеми екологізації землекористування, раціонального і сталого використання земельних та інших природних ресурсів сягають своїм корінням далеко в минуле. Тому розуміння характеру досліджуваної проблеми взаємопов'язано з розумінням взаємовідносини суспільства та природи, яке ґрунтується на їх діалектичній єдності. Історично склалося так, що прагнення суспільства максимально експлуатувати земельні та інші природні ресурси з метою отримання більшого прибутку давало короткострокову вигоду на шкоду довгостроковому раціональному використанню землі та передусім збереженню ґрунтової родючості й інших природних ресурсів і біорізноманіття. Наука про організацію використання і охорони земель не спиралася

© Т.М. Прядка, О.І. Дребот, Н.В. Комарова, 2024

належним чином на екологічні закони: закон єдності організму та середовища, правила адаптації, правило міри перетворення природного середовища, правило ланцюгових реакцій жорсткого управління природою, закон необхідної різноманітності та ін.

Масове освоєння та залучення земель у сільськогосподарський напрям призвело до порушення природних екосистем, їх саморегуляції та рівноваги, що забезпечують сталість компонентів ландшафту. Сутність і причини екологічних протиріч у системі використання земельних та інших природних ресурсів були пов'язані з порочністю господарського механізму, наслідками нераціонального землекористування та екстенсивним господарюванням. Сучасне використання земельних та інших природних ресурсів — це складне комплексне завдання, яке містить багато підсистем.

Водночас, реформуючи земельні відносини та систему землекористування, у процесі формування ринково-орієнтованої моделі земельного устрою сільських територій необхідно враховувати ступінь впливу людської діяльності на земельні та інші природні ресурси й навколишнє середовище, в кожному конкретному випадку суворо дотримуватись вимог екологічної рівноваги для забезпечення сталого розвитку територій територіальних громад.

Метою досліджень було розкрити ключові аспекти формування сталого (збалансованого) розвитку земельного устрою та реалізації інтегрованого управління землекористуванням, а також запропонувати пропозиції щодо пошуку компромісних рішень для задоволення потреб суспільства.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблемам теоретико-методологічних засад екологізації територій та виробництв присвячені праці відомих вітчизняних вчених, серед яких Г. Гуцуляк [1], Д. Добряк, О. Дребот [2], О. Ковалів [3; 4], А. Третяк, В. Третяк [5; 6] та ін. Однак, незважаючи на широкий спектр результатів досліджень вказаних вище та інших авторів, слід визнати, що досі залишаються невирішеними чимало питань, пов'язаних з удосконаленням та впровадженням наукових підходів, спрямованих на формування стійких тенденцій збалансованого розвитку земельного устрою сільських територій в умовах екологічної трансформації економіки.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для забезпечення збалансованого розвитку сільських територій необхідним є формування комплексного міжсекторального підходу до розв'язання питань забезпечення екологічно сталого розвитку земельного устрою сільських територій, що має ґрунтуватись на застосуванні сучасних еколого-економічних інструментів з урахуванням стану використання земельних та інших природних ресурсів і потреб суспільства.

У даному контексті економічний аспект сталого розвитку земельного устрою регіонів та територіальних громад полягає в тому, що організація землекористування цивілізації має бути спрямована не на збільшення використання земельно-ресурсного потенціалу біосфери, а на його раціональне використання.

Соціальний аспект передбачає перехід суспільства на демократичні засади управління, поєднання ринкової економіки та соціальних функцій держави. Екологічний аспект враховує насамперед вплив людини на використання і охорону земельних та інших природних ресурсів, оскільки і прогрес людства пов'язаний із їх використанням для своїх потреб, а не навпаки. В умовах ринку найчастіше спостерігається споживче ставлення власників до землі, тому недооцінка екологічних чинників за її використання неприпустима, особливо в умовах становлення земельного ринку. Наявна нормативна база недостатньо враховує забезпечення екологічної безпеки під час використання та охороні земель [5]. Все це потребує посилення уваги до екологічних проблем землекористування в процесі формування земельного устрою, що і розглянуто в статті.

У процесі написання статті було використано як загальнонаукові, так і спеціальні методи, які відповідали меті та завданням дослідження. Застосовано метод аналізу наукової літератури для детального огляду наявних досліджень і теорій, пов'язаних зі сталим розвитком землекористування, що забезпечило міцну теоретичну основу для роботи. Аналіз статистичної звітності та порівняльний метод дали можливість оцінити екологічний стан землекористування в різних адміністративно-територіальних одиницях. Комплексний методологічний аналіз дав змогу дослідити особливості використання земельно-ресурсного потенціалу в умовах сучасного ринку, а метод синтезу сприяв розробці шляхів переходу до сталого використання земельних і природних ресурсів в Україні та формуванню наукових засад для сталого земельного устрою.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБҐРУНТУВАННЯ

Щорічні національні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні [7] постійно констатують перевищення екологічно допустимих меж у використанні сільськогосподарських угідь, що призводять до посилення процесів деградації, зниження здатності природних комплексів до саморегуляції їх продуктивності. Так, «в Україні для господарського використання залучено понад 92% всієї території. Надзвичайно високим є рівень розораності території і становить понад 54%. У розвинутих країнах Європи цей показник не перевищує 35%. Фактична лісистість території України становить лише 16%, що недостатньо для забезпечення екологічної рівноваги (середній показник європейських країн від 25 до 30%» [7]. У складі земель України станом на 01.01.2020 р. сільськогосподарські угіддя сягають близько 41,31 млн га (68,4% від загальної площі земель). З них рілля — найбільшу питому частку і займає площу 32,76 млн га (54,3% загальної площі земель), що свідчить про високу розораність і сільськогосподарську освоєність території України. Наша держава має один із найвищих у світі показників забезпеченості сільськогосподарськими угіддями і ріллею на душу населення [7].

Існують важливі зв'язки між характером землекористування, станом земель, з одного боку, і пріоритетними екологічними проблемами — з іншого. Види і характер землекористування — одна з основних причин зміни стану навколишнього середовища. Зміни в землекористуванні, наприклад, інтенсифікація сільського господарства або розростання міст, часто спричиняють повну чи часткову втрату корисних функцій земель, зокрема таких як потенціал поглинання парникових газів, культурна цінність традиційних ландшафтів, здатність до збереження біорізноманіття тощо і сприяють до проблем із деградацією земель, якістю водних ресурсів, із посухами і повенями, тощо. Розв'язання вказаних проблем можливе за умови формування сталого (збалансованого) розвитку земельного устрою та реалізації інтегрованого управління землекористуванням, яке передбачає пошук компромісних рішень щодо задоволення потреб суспільства, наприклад, у продовольстві й збереження якості земельних та інших природних ресурсів.

Структура землекористування та екологічна незбалансованість земельного фонду тісно взаємопов'язані, проте розподіл земельних ресурсів за цільовим призначенням і способом використання не забезпечує достатніх можливостей для обґрунтування екологічної стабільності територій.

Оцінка екологічної стабільності в межах регіонів України відбувається шляхом розрахунку коефіцієнтів екологічної стабільності (К ек. ст.) та антропогенного навантаження (Б а. н.). Характеристику екологічного стану земельних ресурсів України за адміністративно-територіальними одиницями станом на 1 січня 2020 р. подано в *табл.*

Як висвітлено у *табл.*, екологічна стабільність землекористування на території України залишається стабільно нестійкою (К. ек. ст. = 0,40) та середнього рівня навантаження (Б а. н. = 3). У межах регіонів країни коефіцієнт екологічної стабільності

Характеристика екологічного стану землекористування України за адміністративно-територіальними одиницями станом на 1 січня 2020 р.

Адміністративно-територіальних одиниць	К ек. ст.*	Екологічна стабільність території	Б а. н.**	Антропогенне навантаження території
АР Крим	0,41	Стабільно нестійка	≈3	Середній рівень
Вінницька	**0,33**	**Екологічно нестабільна**	**≈4**	**Значний рівень**
Волинська	0,57	Середньо стабільна	≈3	Середній рівень
Дніпропетровська	**0,28**	**Екологічно нестабільна**	**≈4**	**Значний рівень**
Донецька	**0,29**	**Екологічно нестабільна**	**≈4**	**Значний рівень**
Житомирська	0,55	Середньо стабільна	≈3	Середній рівень
Закарпатська	0,71	Екологічно стабільна	≈3	Середній рівень
Запорізька	**0,27**	**Екологічно нестабільна**	**≈4**	**Значний рівень**
Івано-Франківська	0,62	Середньо стабільна	≈3	Середній рівень
Київська	0,43	Стабільно нестійка	≈3	Середній рівень
Кіровоградська	**0,27**	**Екологічно нестабільна**	**≈4**	**Значний рівень**
Луганська	0,41	Стабільно нестійка	≈3	Середній рівень
Львівська	0,53	Середньо стабільна	≈3	Середній рівень
Миколаївська	**0,28**	**Екологічно нестабільна**	**≈4**	**Значний рівень**
Одеська	**0,31**	**Екологічно нестабільна**	**≈4**	**Значний рівень**
Полтавська	**0,33**	**Екологічно нестабільна**	**≈4**	**Значний рівень**
Рівненська	0,60	Середньо стабільна	≈3	Середній рівень
Сумська	0,42	Стабільно нестійка	≈3	Середній рівень
Тернопільська	0,34	Стабільно нестійка	≈4	Значний рівень
Харківська	0,34	Стабільно нестійка	≈4	Значний рівень
Херсонська	0,34	Стабільно нестійка	≈3	Середній рівень
Хмельницька	0,35	Стабільно нестійка	≈4	Значний рівень
Черкаська	0,36	Стабільно нестійка	≈3	Середній рівень
Чернівецька	0,51	Середньо стабільна	≈3	Середній рівень
Чернігівська	0,47	Стабільно нестійка	≈3	Середній рівень
Україна	**0,40**	**Стабільно нестійка**	**≈3**	**Середній рівень**

Примітки: розраховано авторами за даними [8].

* К. ек. ст. сягає ≤0,33 — територія є екологічно нестабільною; у межах 0,34–0,50 — відноситься до стабільно нестійкої; у межах 0,51–0,66 — переходить у межі середньої стабільності; якщо ≥0,67 — територія є екологічно стабільною.

** 5 балів — високий ступінь антропогенного навантаження (землі промисловості, транспорту, населені пункти); 4 бали — значний (рілля, багаторічні насадження); 3 бали — середній (природні кормові угіддя, залужені балки); 2 бали — незначний (лісосмуги, чагарники, ліси, болота, під водою); 1 бал — низький (мікрозаповідники).

коливається від 0,71 у Закарпатській обл. до 0,27 в Запорізькій та Кіровоградських обл.; тільки одна область є екологічно стабільною (Закарпатська обл.) та шість областей знаходяться в межах середньої стабільності (Волинська, Житомирська, Івано-Франківська, Львівська, Рівненська, Чернівецька). Території всіх інших областей є стабільно нестійкими та екологічно нестабільними.

Значення коефіцієнта екологічної стабільності корелює із рівнем розораності регіону. Незадовільний стан екологічної стабільності території України обумовлений насамперед високим ступенем її розораності (див. *табл.*).

Бал антропогенного навантаження (Б а. н.) характеризує ступінь впливу діяльності людини на стан довкілля, зокрема земельні ресурси. Високим ступенем

антропогенного навантаження на земельні ресурси характеризуються забудовані землі, землі промисловості і транспорту; значний ступінь навантаження мають також — рілля, багаторічні насадження; середній ступінь антропогенного навантаження — природні кормові угіддя (сінокоси, пасовища), залужені балки; незначний — лісосмуги, чагарники, ліси, болота, під водою; та низький ступінь — мають мікрозаповідники. Так, загалом по країні антропогенне навантаження сягає від 3 до 4 балів і характеризується середнім та значним ступенем навантаження.

Визначаючи специфіку використання земельно-ресурсного потенціалу в сучасних ринкових умовах, необхідно враховувати, що саме особливості землі як унікального природного ресурсу об'єктивно вимагають за будь-якого соціально-економічного укладу активного й різнобічного втручання органів державного управління щодо розподілу, перерозподілу, використання та відновлення земельних ресурсів.

Необхідно зазначити, що особливо в аграрній сфері процеси екологізації землекористування йдуть досить повільними темпами. Особливо загрозливою є прогресуюча деградація та спад родючості ґрунтів — основи біосфери і сільськогосподарського виробництва. Деградація земель, що посилюється, загрожує сільськогосподарським товаровиробникам економічним банкрутством. Щорічні збитки від основних видів ґрунтової деградації становлять близько 40–50 млрд грн, зокрема за рахунок незбалансованих втрат гумусу і поживних речовин — 23–28 млрд грн; від недобору продукції та втрат ґрунту через ерозію — 17–22 млрд грн [9].

Водночас формування земельних відносин, заснованих на введенні приватної власності на землю, за споживчого відношення, що зберігається, до її використання викликає необхідність посилення державного контролю в цій галузі. На жаль, останнім часом, використовуючи специфіку реалізації на різних територіях принципів сталого еколого-економічного розвитку та пов'язану з ними трансформацію земельних відносин, багато авторів у Концепції Загальнодержавної цільової програми використання та охорони земель обмежуються простим перерахуванням землеохоронних заходів.

Однак докорінні зміни у земельних відносинах зумовлюють необхідність наукового забезпечення стратегії та тактики розвитку екологічності земельного устрою, у зв'язку з чим важливе значення мають розробки концептуальних аспектів проблеми та конкретних напрямів її вирішення. Очевидне відставання методологічних розробок цієї проблеми від потреб практики негативно позначається на всьому процесі перетворення земельних відносин та сталого (збалансованого) землекористування, стан їх законодавчої бази. Екологізація земельних відносин та землекористування вимагає передусім екологізації організаційно-господарської перебудови системи земельного устрою країни, регіонів та територіальних громад, що склалася.

Об'єднувальним початком можуть бути екологічні закони Н.Ф. Реймерса, Т.Ю. Туниця та інших учених, тобто екосистемна теорія, в основі якої лежить цілісність та системний підхід [10]. У цьому випадку сталий розвиток земельного устрою має триєдину мету: екологічне благополуччя, економічна ефективність землекористування, рівні соціально-економічні умови. Стійкість ґрунтується на принципі, згідно з яким необхідно забезпечувати потреби сьогодення, не підриваючи спроможності майбутніх поколінь надавати їх власні потреби. За формулювання цілей сталого розвитку земельного устрою треба з огляду необхідності об'єднання екологічних вимог з економічними інтересами. Інакше кажучи, мета полягає в інтенсифікації землекористування за одночасного збереження та поліпшення навколишнього середовища. Тому, перш ніж перейти до основ, що формують стале (збалансоване) використання земельних та інших природних ресурсів, необхідно розглянути визначення цього терміна.

Зокрема, в ст. 1 ЗУ «Про землеустрій» у редакції 2003 р. [11] ***стале землекористування*** — це форма та відповідні до неї методи використання земель, що забезпе-

чують оптимальні параметри екологічних і соціально-економічних функцій територій (*а більш конкретно, в нашому розумінні, функцій землі*). До того ж змінами до цієї статті у 2015 р. було визначено, що ***стале землекористування*** — це використання земель, що визначається тривалим користуванням земельною ділянкою без зміни її цільового призначення, погіршення її якісних характеристик та забезпечує оптимальні параметри екологічних і соціально-економічних функцій територій. Отже, поняття «***стале землекористування***» було звужено від територіального розуміння до земельної ділянки. В науковій літературі [6] під сталим (збалансованим) землекористуванням розуміється «система організації використання та охорони землі й інших природних ресурсів й біорізноманіття та відповідних їй земельних відносин, що відповідають відносинам суспільного розвитку, при якій досягається оптимальне співвідношення між соціальними, екологічними та економічними факторами розвитку землекористування, нормалізацією якісного стану земельних та інших природних ресурсів (нейтральною деградацією), задоволенням матеріальних і духовних потреб нинішнього та прийдешніх поколінь». Отже, з огляду на наведене поняття сталого (збалансованого) землекористування, його сутність полягає у збалансуванні соціальних, екологічних та економічних чинників землекористування шляхом інституціоналізації процесу землекористування й організації його форм. Тому, ***стале землекористування*** — це довготривалі (*підтримання біотичної регуляції навколишнього середовища*), багатоцільові (*задоволення різноманітних потреб людей*) та економічно вигідні (*оптимальне за відповідними індикаторами й критеріями*) земельні та інші відносини суспільства [12; 13].

Отже, перш ніж перейти до витоків, що формують сталий розвиток земельного устрою, необхідно дати визначення цього терміна. Прийнятним визначення можна сформулювати так: **сталий розвиток земельного устрою — *це реалізація комплексу заходів у системі «людина — земля — землекористування» за підтримки використовуваних екосистем у стані взаємоурівноваженої стійкості екологічних, економічних та соціальних компонентів за максимально можливих збалансованих земельних відносин та системи землекористування.***

Це визначення дає можливість концептуально позначити шляхи переходу до збалансованого використання земельних та інших природних ресурсів в Україні й відповідно сформувати наукові засади формування сталого земельного устрою. Суть цього переходу має полягати в усвідомленні всіма суб'єктами земельних відносин, включаючи державу, землевласників і землекористувачів, що причиною незадовільного екологічного стану землекористування, насамперед, виявилася екологічна межа можливостей земельних та інших природних ресурсів.

ВИСНОВКИ

Тому, перед кожною людиною, що працює на землі, стоїть психологічне завдання — змінити господарську стратегію з метою відновлення та збереження екологічної стійкості кожної конкретної земельної ділянки, з властивими їй унікальними властивостями. За формування підходів до переходу на сталий земельний устрій, а відповідно й сталі земельні відносини та землекористування слід дотримуватися оптимального співвідношення між порушеними й незадіяними господарською діяльністю територіями. Непорушені земельні території необхідно розглядати як стабілізаційний, що нейтралізує антропогенні впливи на ландшафт чинник.

Для формування механізму сталого використання земельних та інших природних ресурсів у процесі землекористування дуже важливим є процес збільшення (розширення) категорії земель природно-заповідного та іншого природоохоронного призначення за рахунок створення нових заповідників, заказників, національних парків та загалом екологічної мережі України, її регіонів і територіальних громад, як однієї зі складових земельного устрою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гуцуляк Г., Гуцуляк Ю. Система збалансованого землеволодіння і природокористування в об'єднаних територіальних громадах та принципи його формування. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 1. С. 12–17. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2023.278533.
2. Дребот О.І., Добряк Д.С., Мельник П.П. Наукові основи природно-сільськогосподарського районування території України в сучасних умовах. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 2. С. 5–12. DOI: https://doi.org/10.33730/2310- 4678. 2.2023.282745.
3. Ковалів О.І. Алгоритм методологічних аспектів природокористування в Україні як конституційно вмотивовані вимоги сьогодення. *Агроекологічний журнал*. 2023. № 4. С. 15–27. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2023.293634.
4. Ковалів О.І. Синтез правових аспектів як методологічних засад землеприродокористування, що ґрунтуються на чинних земельних нормах Конституції України. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 1. С. 18–27. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2023.278534.
5. Третяк А.М. Екологія землекористування: теоретико-методологічні основи формування та адміністрування. Херсон: Грінь Д.С., 2012. 440 с.
6. Третяк А.М., Третяк В.М., Трофименко П.І. та ін. Стале (збалансоване) землекористування: понятійний базис та методологія інституціоналізації. *Агросвіт*. 2021. № 24. С. 11–22. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6792.2021.24.11.
7. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2019 році. URL: https://mepr.gov.ua/news/37844.html.
8. Третяк А.М., Третяк Р.А., Шквир М.І. Методичні рекомендації оцінки екологічної стабільності агроландшафтів та сільськогосподарського землекористування. Київ, 2001. 15 с.
9. Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової програми використання та охорони земель: розпорядження від 19 січня 2022 р. № 70-р. Кабінет Міністрів України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/70-2022-%D1%80#top.
10. Туниця Т.Ю. Збалансоване природокористування: національний і міжнародний контекст. Київ: Знання, 2006. 300 с.
11. Про землеустрій: Закон України від 22.05.2003. № 858-IV. *Відомості Верховної Ради України*. URL: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/858-15/print1455609227934553.
12. Прядка Т.М. Методологічна основа моделювання збалансованого розвитку земельного устрою сільських територій. *Агросвіт*. 2023. № 20. С. 66–73. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6792.2023.1.15.
13. Tretiak A., Tretiak V., Komarova N. et al. Methodical approaches to the assessment of the formation of sustainable (balanced) agricultural land use. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Developmen*. 2022. Vol. 22. Is. 1. P. 669–678.

REFERENCES

1. Hutsuliak, H. & Hutsuliak, Yu. (2023). Systema zbalansovanoho zemlevolodinnia i pryrodokorystuvannia v obiednanykh terytorialnykh hromadakh ta pryntsypy yoho formuvannia [The system of balanced land ownership and nature use in united territorial communities and the principles of its formation]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia — Balanced nature management, 1*, 12–17. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2023.278533 [in Ukrainian].
2. Drebot, O.I., Dobriak, D.S. & Melnyk, P.P. (2023). Naukovi osnovy pryrodno-silskohospodarskoho raionuvannia terytorii Ukrainy v suchasnykh umovakh [Scientific bases of natural and agricultural zoning of the territory of Ukraine in modern conditions]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia — Balanced nature management, 2*, 5–12. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2023.282745 [in Ukrainian].
3. Kovaliv, O.I. (2023). Alghorytm metodologhichnykh aspektiv pryrodokorystuvannja v Ukrajini jak konstytucijno vmotyvovani vymoghy sjoghodennja [Algorithm of methodological aspects of nature management in Ukraine as constitutionally motivated requirements of today]. *Aghroekologhichnyj zhurnal — Agroecological journal, 4*, 15–27. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2023.293634 [in Ukrainian].
4. Kovaliv, O.I. (2023). Syntez pravovykh aspektiv jak metodologhichnykh zasad zemle-pryrodo-korystuvannja, shho gruntujutjsja na chynnykh zemeljnykh normakh Konstytuciji Ukrajiny [Synthesis of legal aspects as methodological foundations of land-nature-use, based on the current land norms of the Constitution of Ukraine]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannja — Balanced Nature Management, 1*, 18–27. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2023.278534 [in Ukrainian].
5. Tretiak, A.M. (2012). *Ekolohiia zemlekorystuvannia: teoretyko-metodolohichni osnovy formuvannia ta administruvannia [Ecology of land use: theoretical and methodological foundations of formation and administration]*. Kherson: Hrin' D.S. [in Ukrainian].
6. Tretiak, A.M., Tretiak, V.M., Trofimenko, P.I. et al. (2021). Stale (zbalansovane) zemlekorystuvannia: poniatiinyi bazys ta metodolohiia instytutsiolizatsii [Sustainable (balanced) land use: conceptual basis and methodology of institutionalization]. *Agrosvit — Agrosvit, 24*, 11–22. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6792.2021.24.11 [in Ukrainian].
7. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. (2019). *Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Ukraini u 2019 rotsi [National report on the state of the natural environment in Ukraine in 2019]*. Kyiv [in Ukrainian].

8. Tretiak, A.M., Tretiak, R.A. & Shkvir, M.I. (2001). *Metodychni rekomendatsii otsinky ekolohichnoi stabilnosti ahrolandshaftiv ta silskohospodarskoho zemlekorystuvannia [Methodical recommendations for assessing the ecological stability of agricultural landscapes and agricultural land use]*. Kyiv [in Ukrainian].
9. Pro skhvalennia Kontseptsii Zahalnoderzhavnoi tsilovoi prohramy vykorystannia ta okhorony zemel: rozporiadzhennia vid 19.01.2022. № 70-r [Concept of the National Target Program of land Use and Protection: order of 19.01.2022. № 70-r]. *Kabinet Ministriv Ukrayiny — Cabinet of Ministers of Ukraine*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/70-2022-%D1%80#top [in Ukrainian].
10. Tunytsya, T.Y. (2006). *Zbalansovane pryrodokorystuvannia: natsionalnyi i mizhnarodnyi kontekst [Sustainable environmental management: a national and international context]*. Kyiv: Znannya [in Ukrainian].
11. Pro zemleustrii: Zakon Ukrai'ny vid 22.05.2003 № 858-IV [On Land Management: Law of Ukraine from May 22nd, 2003, no. 858-IV]. (2003). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy — Information from the Verkhovna Rada of Ukraine*. URL: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/858-15/print1455609227934553 [in Ukrainian].
12. Priadka, T.M. (2023). Metodolohichna osnova modeliuvannia zbalansovanoho rozvytku zemelnoho ustroiu silskykh terytorii [Features of the formation of the natural and ecologicalsubsystem of the land system]. *Agrosvit — Agrosvit, 20*, 66–73. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6792.2023.1.15 [in Ukrainian].
13. Tretiak, A., Tretiak, V., Komarova, N. et al. (2022). Methodical Approaches to the Assessment of the Formation of Sustainable (Balanced) Agricultural Land Use. *Economic Engineering in Agriculture and Rural Development, 22 (1)*, 669–678 [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 03.07.2024

UDC 502.173:556.51:574.5 DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311178

ENVIRONMENTAL MONITORING OF THE AGROSPHERE: THEORY, METHODOLOGY, PRACTICE

O. Mudrak[1], H. Mudrak[2], V. Semeniv[3], Yu. Antoniuk[4], O. Riabokon[1], O. Herasimova[1]

[1]КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти» (м. Вінниця, Україна)
e-mail: ov_mudrak@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1776-6120
e-mail: olya_riabokon1986@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4733-3067
e-mail: gerasimovaalena79@gmail.com; ORCID: 0009-0000-2993-2723

[2]Вінницький національний аграрний університет (м. Вінниця, Україна)
e-mail: galina170971@ukr.net; ORCID: 0000-0003-1319-91389

[3]Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича (м. Чернівці, Україна)
e-mail: vlad.semeniv99@gmail.com; ORCID: 0009-0005-2487-6183

[4]Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: yuraantoniuk22@gmail.com; ORCID: 0009-0006-3257-0843

У запропонованій статті розглянута теорія, методологія і практика проведення комплексного екологічного моніторингу агросфери України. Вона зумовлена екологічно необґрунтованим землекористуванням, недостатнім техніко-технологічним забезпеченням, здійсненням недієвих інвестиційно-інноваційних економічних і технологічних рішень, порушенням збалансованості агроландшафтів за рахунок їх значної розораності, ущільненням ґрунту, погіршенням співвідношення площі ріллі й еколого-стабілізаційних угідь та природно-заповідного фонду, неефективністю реалізації екологічної і смарагдової мереж, руйнуванням ґрунтового покриву (зменшенням буферності ґрунту), зниженням рівня агробіорізноманіття, зростанням площ деградованих земель. Це відзначає те, що в Україні існують усі ознаки екологічної кризи агросфери, розв'язати які покликана агроекологія, на основі екологічного моніторингу з використанням сучасних інформаційних і космічних технологій, оцінювання рівня забруднення всіх складових агроландшафтів патогенними організмами, органічними ксенобіотиками і важкими металами, вивчення міграції і трансформації токсикантів у системі «ґрунт–рослина–тварина–продукція–людина». Це дасть змогу розробити методи і технології відновлення забруднених ґрунтів і повернення їх у сільськогосподарське виробництво, розробити модель оптимального співвідношення між вирощуванням рослин і тварин за певного стану компонентів довкілля, забезпечити високу якість сільськогосподарської продукції, зберегти біорізноманіття агроландшафтів. Тому авторами запропоновано науково обґрунтовану методику вдосконалення екологічного моніторингу агросфери України для різних типів агроландшафтів, їхню оптимізацію, ефективне використання та збереження біорізноманіття. Наведено етапи і специфіку проведення комплексного екологічного моніторингу агросфери для різних типів агроландшафтів, їхніх функціонально-структурних елементів, запропоновано основні напрями і практичні підходи. Доведено необхідність здійснення цієї комплексної системи екологічного моніторингу агросфери для різних типів агроландшафтів на території держави та створення регіональних інформаційно-консультаційних центрів з агроекологічних питань. Для ефективного проведення комплексного екологічного моніторингу агросфери України для різних типів агроландшафтів рекомендовано створити банк еталонних ґрунтів (з метою порівняльного аналізу). Запропоновано створити відповідні бази даних екологічної інформації для консультативно-впроваджувальних центрів з агроекологічних питань, що дасть можливість ефективно реалізувати програми сталого розвитку агросфери України.

Ключові слова: *агробіорізноманіття, агроландшафти, агроекосистеми, екологічна паспортизація, сталий розвиток, оптимізація землекористування.*

© O. Mudrak, H. Mudrak, V. Semeniv, Yu. Antoniuk, O. Riabokon, O. Herasimova, 2024

INTRODUCTION

The development of the twenty-first century society shows that it has a number of environmental problems such as climate change, pollution of air, surface and groundwater and soil, increasing the share of arable land in agriculture, erosion, deforestation, desertification, reduction of biotic diversity of flora, fauna and microorganisms, soil degradation, depletion of natural resources caused by large-scale industrialization and urbanization and environmental consequences of the military actions of the Russian Federation. Current trends of qualitative changes in Ukrainian society, European integration and the development of international directions of cooperation in the field of guaranteeing the quality of life and health lead to the priority of sustainable development of Ukraine's agricultural sector, which accounts for about 70% of the country's territory. After all, a significant negative anthropogenic impact on the components of the environment, irrational use of agricultural resources and military actions in Ukraine have led to the degradation of agricultural landscapes, loss of agrobiodiversity, and failure in ensuring the formation, effective use and implementation of the national ecological and Emerald Networks and sustainable development of the agricultural sector. The latter, together with all types of agricultural landscapes occupies from 50 to 80% of the territory in different regions of the of the country. An important problem for ensuring the sustainable development of Ukrainian agricultural sector is also the problem of mine clearance of the territories, which, according to UN experts, occupy 20% of the country's area [1; 2].

The purpose of the research is to propose a scientifically based methodology for improving environmental monitoring of the agrosphere of Ukraine for various types of agrolandscapes, their optimization, effective use and preservation of biodiversity.

ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

The analysis of recent studies shows that environmentally unreasonable land use, insufficient technical and technological support, implementation of ineffective investment and innovative economic decisions, violation of the balance of agricultural landscapes due to their significant plowing and erosion, soil contamination with pesticide residues and heavy metals, industrial emissions, soil compaction, reduction of soil fertility, and depletion due to the predominance of nutrient removal over nutrient input, increased acidity of the land, its salinization, disruption of crop rotations, deterioration of the ratio of arable land to ecological stabilization lands and natural reserves has led to significant destruction of soil cover (reduced soil buffering), an increase in the area of degraded land, disappearance of small rivers, and deterioration of the quality of drinking water for the local population, aggravation of the environmental crisis in the regions affected by the Chornobyl accident. This has caused a decline in land productivity, agricultural production efficiency, quality and environmental of agricultural production, quality and environmental safety of food products, and reduced biodiversity and a balance of agroecosystems. Above-mentioned negative effects were also strengthened by weed infestation of fields, non-compliance with crop rotations and contour reclamation farming systems, reduction of the number of farm animals, reduction of the use of fertilizers, chemical ameliorants, contamination with radionuclides and salt residues pesticides and heavy metals, various types of construction, development of mineral resources, increase in the area of illegal landfills, noncompliance with environmental standards, etc. Currently, about 20% of the country's agricultural land are in poor environmental condition. Recent studies show that the rate of decline in land fertility is increasing every 10 years (1980–2020), they amount to a loss of 0.1%, which can be revived only within 100 years, provided that the land is used rationally and efficiently of land. Environmental scientists (agroecologists) in Ukraine, studying the consequences of anthropogenic impact on biota in soils have shown that human activity in a short period of time has led to such a terrible phenomenon that we

now call «environmental AIDS», that is, the destruction of nature's immune system, the disappearance of its basic functions such as self-healing, self-purification and self-development [3; 4; 6; 7].

Soils are an important component of nature's immune system, and they are the basis for the production of food and feed, fuel and fiber. Without soil resources, it is impossible to develop ecosystems and increase human well-being. Soils play a key role in the supply of clean water, they are a factor in resilience during floods and droughts. Conservation of soil resources plays an important role in climate change adaptation measures and is also a necessary for ensuring food, water and energy security of the humanity. On December 5, at the initiative of the United Nations, we celebrate World Soil Day, which was established on December 20, 2013, by the resolution of the 68th session of the UN General Assembly. Of course, Ukraine's greatest natural wealth is black soil, which accounts for almost 25% of the world's and 50% of Europe's reserves. Ukraine has a powerful potential of land resources, which, according to experts predict that it can meet the food needs of 600 million people. However, the efficiency of their use is characterized by a rather low level [6; 7].

According to many Ukrainian scholars (O. Sozinov, H. Bilyavsky, M. Zubets, O. Tarariko, V. Patyka, A. Travliiev, A. Boyko, M. Holubets, O. Furdychko, B. Priester, V. Radchenko, O. Bondar, Yu. Tarariko, P. Pysarenko, O. Drebot, I. Hudkov, M. Klymenko, D. Lyko, O. Demianiuk, N. Ridei, G. Chobotko, A. Parfeniuk, A. Pryschepa, Ye. Tkach and others), Ukraine has all the signs of an ecological crisis in the agricultural sector, which agroecology is called upon to solve on the basis of environmental monitoring using modern information and space technologies, assessing the level of pollution of all components of agricultural landscapes by pathogenic organisms (viruses, bacteria, macromycetes), organic xenobiotics and heavy metals, studying the migration and transformation of toxicants in the system «soil–plant–animal–product–human». This will make it possible to develop methods and technologies for the remediation of contaminated soils and their return to agricultural production, to develop a model of the optimal ratio between growing plants and animals under a certain state of environmental components, to ensure high quality agricultural products, and to preserve the biodiversity of agricultural landscapes [1–5; 7–14].

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCH

The objects of the proposed integrated environmental monitoring of the agro-sphere of Ukraine for different types of agricultural landscapes (field, garden, meadow-pasture, vineyard, mixed) should be:

- agro-landscapes, united by common agro-climatic conditions, and the cycle of substances and energy;
- agricultural landscapes of zones, sub-zones, regions, and oblasts;
- agricultural landscapes of unified physical and geographical regions;
- facies, tracts and areas of agricultural landscapes;
- dominant soil types, subtypes, and other soil taxa — genera, species, varieties, and cultivation options that are distinguished within a soil province and reflect the diversity of soils, their fertility, environmental sustainability, and the degree of damage from degradation processes to the maximum extent possible;
- species composition of various biota and agrobiodiversity;
- sources and types of agricultural landscape pollution;
- all types and levels of anthropogenic pressure on the agricultural landscape;
- socio-environmental factors, including the level of environmental education and culture of the rural population and agricultural managers, the health and well-being of agricultural workers, etc. [12–14].

Among the types of environmental monitoring of the agricultural sector (benchmark, production, current, crisis, special, scientific), it is appropriate to conduct prognostic monitoring, which should differ in content, scale, efficiency, methodology, and levels.

Soil monitoring should become the basis for comprehensive environmental monitoring of agricultural landscapes (agricultural, forest, water, reclaimed, recreational, protected and other categories of land). In the system of agricultural lands monitoring, the objects of monitoring should be the soils of agricultural lands (arable land, hayfields, pastures, perennial plantations, fallow land, lands of temporary conservation), their nutrient, water, thermal and gas regimes, biochemical (enzymatic) activity, preservation of full-fledged pedobiota (macro-, meso- and microfauna of the soil), optimization of physical condition, prevention of their disintegration, compaction, etc. [1; 5].

The survey of agricultural land for environmental monitoring should include such stages as preparatory, field, laboratory and desk ones.

The preparatory stage is the selection of an object (farm, land plot), preparing and processing of relevant cartographic material. It includes clarification of the territory and objectives of environmental studies, generalization of existing materials on agrochemical monitoring and functional (economic) land use, review of the results of previous studies and structural characteristics of agrolandscapes — soil and vegetation, geological and geomorphological. The result of this stage is a preliminary detailed (1:25,000–1:10,000 scale) scheme of the agro-landscape structure of the study area, which indicates the profiles and points of field observations both on the territory of arable land agro-landscapes and adjacent territories such as hayfields, pastures, meadows, forest belts, forest glades, etc.

The field stage is soil sampling. It begins with clarifying the boundaries of agricultural landscapes and placing observation points, guided by the fact that within one elementary agricultural landscape, 3–5 pits (in the first year of observation) or digs (in the 2–3rd year for subsequent years of research) are laid. The boundaries of agrolandscapes and anthropogenic phenomena (erosion, waterlogging, flooding, felling, clogging of water bodies and land, fires, etc.) are specified by routes during the opening of soil transects. At the observation points, a complete description of the site surface is made, a soil transect is laid to the depth of the soil-forming rock, and samples are taken for further laboratory research, documenting everything in a field journal of the prescribed form. Informational field surveys should include documentation of such characteristics of the observation points as: *a*) location, nearest settlements and watercourses, prevailing elevations, transportation routes, etc.; *b*) nature and specifics of land use; *c*) relief element, landscape, elementary agricultural landscape; *d*) hydrological characteristics of the nearest watercourse, spring, well with a description of the physical properties of water and valley characteristics; *e*) type and species composition of vegetation, morphological signs of phytopathologies, anthropogenic impact on vegetation; *f*) description of genetic horizons of the soil section, including the soil-forming rock; *g*) anthropogenic processes and phenomena occurring on the surface of the agricultural landscape and adjacent territories (roads, dumps, sumps, buildings, garbage dumps, etc.). At the observation points, samples of natural waters, vegetation (collective phytocoenosis, individual morphological parts of crops), soils (furrow samples of the topsoil, humus and soil-forming horizons, agrochemical monitoring interval of 0–20 cm) are taken, indicating their number in the field journal and on the standard sample label.

The laboratory stage involves the preparation and analysis of soil samples. This stage of research includes analytical determinations of nutrient (or toxic) chemical elements relevant to the farm in vegetation ash, soils and rocks (mobile and gross forms of occurrence), and water bodies, which are the main parameters of biogeochemical chains. Along with this, the accompanying characteristics of agricultural landscapes and natural areas are determined to identify factors of biogeochemical differentiation of agricultural landscapes such as plant ash content, agrochemical parameters of soil horizons, macrocomponents of water bodies.

The desk-based stage involves processing the analysis results, creating an electronic

database, drawing up cartograms, diagrams, tables, and preparing an agrochemical passport. This stage consists of informative synthesis of the materials from the field and laboratory stages using statistical analysis, graphical modeling, identification of natural features and anthropogenic deformations of agricultural landscapes, and determination of the prospects for balanced nature management on the studied lands. The first component of the desk-based stage is the construction of a refined map (cartographic scheme) of the spatial distribution of agrolandscapes. For this purpose, the taxonomic classification of the factors of functioning of all links of the chain «rocks — soils — water — natural vegetation and crops» in the agrolandscapes of the study area is completed, maps of the features and distribution of agrolandscapes are drawn up, conventional notations for the map are formed and field observation points are placed on it. The second component of the desk-based stage is the compilation of a database with the designation of the agrolandscape, its components, sample numbers, laboratory analysis methods, content of the studied chemical elements and related quantitative parameters (agrochemical, hydrochemical, and other). The third component of the desk-based stage is the statistical analysis of the data (using methods of variation and correlation analysis) and the calculation of a set of biogeochemical, hydroecological and ecological-geochemical coefficients based on them. The final product is an agrochemical passport. Land plots of all forms of ownership located within the territory of Ukraine are subject to agrochemical certification. Agrochemical certification of arable land (100 hectares or more is mandatory) in the country is carried out every 5 years, and hayfields, pastures and perennial plantations (orchards, berry gardens, hop gardens, vineyards) — every 10 years [6; 12–14].

Research methods: descriptive, systematic, retrospective, statistical, analytical, chamber, bioindication, cartographic, field (detailed route, reconnaissance), morphometric, comparative, and predictive.

RESULTS AND DISCUSSION

To conduct comprehensive environmental monitoring of the agrosphere, we note that the agrosphere is a part of the biogeosphere dominated by cultivated plants, domestic animals, cultivated soils, and related organisms (weeds, insects, fungi, microorganisms, viruses, wildlife, etc.). The agrosphere also includes meadows, pastures, and rural settlements. The agrosphere includes all types of agrolandscapes, agrobiocenoses and agroecosystems. It was created and exists thanks to human intelligence and activity, so the agrosphere is not only a biological but also a social category, the main source of food and raw materials for the food and light industry; the habitat of a significant part of the population. It is characterized by impoverished biotic diversity (4–5 species of cultivated plants and 2–3 species of domestic animals dominate). It requires constant significant expenditures of anthropogenic energy. In Ukraine the agricultural sector occupies almost 60% of the territory. Researching the patterns of the agrosphere, identifying ways to reduce its contradictions with the biosphere and transition to the principles of sustainable development, approximation to the conditions of the noosphere is of great importance for the present and future of our country. Agroecology studies the peculiarities of the formation, existence and development of the agrosphere. Therefore, today we have two ways of development of the agrosphere in Ukraine: agroecological, which makes it possible for all living things to exist in the environment and agrochemical, which has a devastating impact on environmental components and human health (*Fig.*) [7; 15].

The need to implement the agro-ecological pathway and comprehensive environmental monitoring of the Ukrainian agrosphere for different types of agricultural landscapes is caused not only by reforms in the field of land relations, the land market, and the organization of agricultural production, which requires the establishment of soil bonuses and their monetary valuation, but also by operational control over the balanced use and protection of soils, their classification (development of a catalog), and the identification of environ-

Ways to develop agriculture in Ukraine

mentally safe raw material zones for growing biological products. After all, according to representatives of various fields of science (agroecologists, economists, sociologists, doctors, educators), about 20% of the country's population (including 15% of children) currently needs high-quality «environmentally friendly» food [5; 12–14].

Today, the EU is following the agroecological path, where the European Economic Commission has adopted a new strategy for the development of the agricultural system, which plans to reduce significantly the use of chemical pesticides. The goal of the strategy is to make this system more sustainable and safer for human health. The strategy aims to reduce pesticide use by 50% in the next decade (by 2030). It also envisages a 50% reduction in the sale of antimicrobials for farm animals and a 20% reduction in the use of fertilizers. The area of organic farming will be increased by 25% by 2030, compared to the current 8%. Chemical pesticides will be banned from vulnerable areas, including EU urban green zones [15].

For the development of organic farming in Ukraine, it is advisable to identify territories and farms that are suitable for growing high-quality, biologically complete crops. The primary step in addressing this issue is to conduct comprehensive environmental monitoring of the Ukrainian agricultural sector which includes a scientific and information system of observation, comprehensive environmental assessment of agricultural landscapes and agroecosystems, taking into account abiotic, biotic and socio-economic factors, control and forecasting of changes in soil fertility and their ecological condition in order to manage productivity and preserve agrobiodiversity. An important provision in the implementation of environmental monitoring of the agrosphere is the combination of interrelated areas such as scientific, methodological and directly production. Their functional direction should be subordinated to specialized structural units of research and educational institutions, centers, laboratories located in a certain soil and climatic zone, having the appropriate material and technical base (equipment, reagents, developed methods) and highly qualified industry specialists [13; 14].

In order to ensure the balanced development of the agricultural sector and take into

account the specifics of nature management, systematic environmental monitoring of agricultural landscapes should consist of a whole range of separately identified components in the following areas and parameters:

❒ ***Monitoring of landowners and land users*** is a structure of land which includes level of plowing (*Table*), percentage of forest cover, protected areas (general and strict), ecological stability of soils, economic and physiological conditions of soils, soil damage by erosion processes (gully and plane erosion, deflation), man-made flooding, landslides, forest species suffocation, abrasion, karst, salinity, subsidence, waterlogging, waterlogging, acidification.

The plowing of territory and agricultural land in different countries

Country	Plowed area, %	Plowed agricultural land, %
Ukraine	53.9	78.0
Poland	36.5	75.1
Germany	34.1	71.0
Canada	4.7	68.6
France	33.5	63.1
Netherlands	30.9	55.0
Austria	16.5	47.5
USA	17.5	38.9
United Kingdom	25.1	35.3
China	12.0	21.5

❒ ***Phytobiotic*** monitoring is a certain species composition of the phytobiota, projected coverage of different types of vegetation, its biomass, taxonomic and typological, biomorphological, biological, ecological, geographical, genetic, coenotic, demographic, sozological structure of the phytobiota. A subspecies of phytobiotic monitoring should be phytosanitary, phytoindication and quarantine. *Phytosanitary* is the determination of the number or status of pests that are directly or indirectly introduced into the territory by various means.

Phytoindication is a certain system of observations of anatomical and morphological indicators of changes and assessment of damage to plants in agricultural landscapes by abiotic and anthropogenic factors. For example, the identification of plants-indicators of anthropogenic impact on arable land (plants-indicators of initial and severe acidification, stagnant moisture in the cultivated soil layer, waterlogging, excess nitrogen in it, appropriate supply of nitrogen and humus, alkalization of carbonate soil, etc.), on pastures, phytoindication of toxic substances in the air. Pedobiota can be quite good bioindicators, most of all earthworms and colembola. Phytoindicator monitoring should cover large areas of agricultural landscapes (landscape facies, tracts and areas), belong to the relevant physical and geographical elements of zoning (landscape edges, regions, districts), be cost-effective, be carried out at a minimum cost and predict environmental changes (using various types of modeling and forecasting) that can be expected at certain intervals. For this purpose, it is advisable to select not only the object, but also certain signs (indicators) that should be clearly recorded during phytoindication of agroecosystems by using a species that is highly sensitive and responds accordingly to anthropogenic environmental changes.

Quarantine is aimed at preventing the introduction and spread of harmful organisms or the need to control the areas of their distribution (localization) or elimination. It is carried out to ensure quarantine in compliance with sanitary measures in the production, storage, transportation and sale of products and the introduction (reintroduction) of organisms. An important direction is phytopathogenic protection.

❒ ***Microbiological*** monitoring is the determination of the functional structure of soil microbial cenoses; strategic forecasting of the appropriate direction of microbiological processes for the plant rhizosphere, which lead to degradation, restoration or degree of stability of the soil complex when applying various agroecological measures; identification and selection of microbiological features for the construction of models of balanced agroecosystems and their formation.

❒ ***Phytovirological*** monitoring is the functional structure of phytovirus cenosis;

forecasting the relevant processes of transformation of phytovirus states of soil; formation of phytovirus cenosis of sustainable agroecosystems.

❒ ***Population and genetic*** is an assessment of recessive biosafety of changes in genetic diversity of breeds and varieties; assessment of the impact of GMOs (genetically modified organisms) on the formation of sustainable agroecosystems.

❒ ***Agrochemical*** monitoring includes determination of recessive and actual levels of soil fertility by indicators of *physical* condition: density, air permeability and moisture permeability; *chemical* humus content in the soil, as well as the content of basic nutrients (amount of rapidly hydrolyzed nitrogen, mg/kg, nitrification capacity, mg NO_3/kg soil, level of mobile phosphorus, exchangeable potassium) and trace elements (sulfur, manganese, molybdenum, zinc, copper, boron, cobalt); *physical and chemical* acidity (actual, hydrolytic, exchange), amount of absorbed bases, salinity (type and degree of salinity), salinity; *biotic state:* soil edaphon, the presence of macro- (earthworms, large insects, insect larvae, millipedes, plant roots), meso- (ticks, nematodes, millipedes, small insect larvae) and microbiota (bacteria, fungi, soil algae, protozoa), ecological groups of soil animals by way of movement and habitat (geoexenes, geobionts, geophiles); *biochemical* state (quality and safety of agricultural products). It is important to study and determine the annual and prospective need for chemical ameliorants (especially liming and gypsumizing soils), conduct soil reclamation (agrochemical) zoning, determine the need for organic and mineral fertilizers, trace elements for all levels of management, and establish the level of effective soil fertility and conduct bonetting.

❒ ***Hydroecological*** monitoring means observation, study and forecast of pollution and self-purification processes, determination of the ecological state and reaction of aquatic ecosystems that are part of the agricultural landscape to various anthropogenic factors related to agricultural activities; forecasting and establishing the dynamics of changes in aquatic ecosystems based on modeling, depending on various sources and types of pollution (eutrophication, toxification, thermification, acidification, radionuclide pollution), structure and directions of agricultural land use.

❒ ***Forestry and environmental*** monitoring includes observation, assessment and forecasting of pollution processes and determination of the ecological state and response of forest landscapes to the impact of various natural and anthropogenic factors that determine the state and productivity of forest ecosystems, and implementation of measures to improve their productivity. This type of monitoring makes it possible to plan in advance the density, composition of future crops in the agricultural landscape, planting locations, and optimal age structure when creating anthropogenic sustainable forest plantations, taking into account habitat conditions, categories of forestry areas and agroclimatic zones, using introductions, to determine the degree and type of damage to shrub and tree species by environmental factors, disease and pest infestation, to conduct phytoindication and timely and moderate sanitary felling, to calculate the costs of forming forest crops, to conduct boning and cadastre.

❒ ***Toxicological*** monitoring is the level of contamination of soils, surface and groundwater, and various types of vegetation with chemicals of toxicity classes I–IV, identification of sources and types of contamination, assessment of the hazard of contamination according to relevant environmental and toxicological criteria, environmental and toxicological zoning and mapping of agricultural landscapes. An example of ecological and toxicological monitoring of organic xenobiotics is the following scheme of its organization, which consists of the following stages: 1) drawing up an observation program, which includes scientific justification for the choice of observation site (sampling point), observation objects (soil, plant, crop and livestock products); 2) identification of sources and types of organic xenobiotic pollution, objects, nature and scale; 3) consideration of the ways of entry and transformation of toxic substances in individual links of agrophytoceno-

sis; 4) sampling of the objects under study; 5) chemical and analytical control over the content of residual amounts of pesticides in the selected samples; 6) identification of areas with crisis pollution by persistent organic pollutants; 7) assessment of background pollution and agricultural land by persistent organic pollutants; 8) assessment of the impact of agricultural technologies on the pollution of water sources and agricultural products by modern pesticides; 9) based on chemical analysis and biotests, ecological and toxicological assessment of pesticide pollution levels and determination of the impact of these levels on the quality of agricultural products, as well as determination of the suitability of agricultural land for growing certain crops; 10) assessment of phytotoxicity of pesticide-contaminated soils; 11) targeted regulation and management of environmental quality.

❒ ***Biotic*** monitoring means determination of the status of agrobiodiversity species: endemic, relict, vulnerable, rare, endangered, plants and animals whose habitats are or may be within the boundaries of agricultural activities; this also includes monitoring of: *a*) forest ecosystems and areas undergoing targeted spontaneous afforestation (especially valuable representative steppe areas); *b*) natural fodder lands, pastures, hayfields, steppe areas, including those belonging to floodplain, floodplain-terrace, slope and floodplain (watershed) areas; *c*) wetlands and peat bogs, reclaimed lands; *d*) honey, medicinal, fruit and berry, industrial, fodder crops; e) segetal and adventitious weeds, including quarantine weeds; *f*) soil microflora; *g*) agricultural pests: spread of quarantine organisms (golden potato cyst nematode, American white butterfly, chestnut moth, bark beetle, etc.); pathogenic microorganisms, bacteria, viruses; insect pests (harmful turtle bug, beetle, locust, beet weevil, beet aphid, Colorado potato beetle, winter scoop, ticks, pests of gardens, vineyards, berry fields) blood-sucking insects (pathogens, helminths); vertebrates (mouse-like rodents, birds, ungulates — wild pigs, deer, roe deer, elk, bison, etc.).

❒ ***Sanitary and hygienic*** monitoring is determination of soil contamination density with radionuclides (Ci/km^2) and their migration; content of gross forms of heavy metals of the I hazard class (mobile forms of mercury, astatum, cadmium, selenium, lead, zinc); II hazard class (boron, cobalt, molybdenum, nickel, copper, stibium, chromium); Hazard class III (barium, tungsten, vanadium, manganese, strontium); content of pesticide residues; bituminized substances in case of oil contamination and their migration; number and percentage of pathogenic microorganisms in 1 g of soil, bacteria, viruses;

❒ ***Socioenvironmental*** monitoring includes determining the state and dynamics of: environmental education, upbringing and culture of the rural population; environmental safety; sanitary and environmental, socio-economic and medical-demographic conditions of the population in specific agricultural areas, establishing the specifics of migration processes; labor resources in agriculture; activities of public environmental organizations; informing the population about environmental safety, environmental policy and environmental management and their compliance with the prin [13; 14; 16; 17].

In order to establish an overview initial assessment of the ecological state of agricultural landscapes, it is necessary to conduct preliminary monitoring, during which background information on the ecological state of various types of agroecosystems is formed, the main sources that lead to deviations from their optimal ecological state are identified, and areas of influence are determined. Ongoing monitoring is carried out within the established network to a minimum extent, where only the most informative and important elements of agricultural landscapes or agroecosystems are subject to control. In the event of a sharp deterioration in the environmental condition, extraordinary monitoring is carried out.

In order to carry out comprehensive environmental monitoring of the agricultural sector effectively, it is advisable to create a bank of reference soils (for comparative analysis). This can only be done at special environmentally friendly testing sites (test plots). For objective and complete environmental monitoring of agrolandscapes, it is appropri-

ate to develop energy and resource-saving models that will allow generalization and comparison, building agroecological maps, developing forecasts, organizing environmental audits, accounting, inspection (control), management, improving environmental standardization and regulation, and conducting appropriate environmental policy within territorial communities on the basis of remote sensing and geographic information systems (GIS). It is important to establish advisory and implementation centers such as «extension services» (in the United States) and «advisory services» (in Poland) on the basis of various regional offices (departments) and agencies. Therefore, it is necessary to unite the systems of regional (local — enterprises, institutions and organizations, settlements, territorial communities; district; regional) services (agriculture, ecology and natural resources, forestry and hunting, basin water resources management, regional branches of the State Institution «Institute of Soil Protection of Ukraine», the State Environmental Inspectorate, the State Food and Consumer Service), their electronic computing equipment into a single information and consulting environmental center, which should carry out The efficiency of this center will depend on the effectiveness of cooperation between the following agencies and services: agrotechnical, investment and innovation, organizational and legal, agrochemical (regional soil protection centers), land reclamation, quarantine (plant protection), entomological, hydrometeorological and climatological, water management (basin water resource management), forestry (departments of the state forestry, forestry, agroforestry), geological exploration, statistical, scientific and methodological, sanitary and environmental (departments of the state food and consumer service), departments of agro-industrial development, ecology and natural resources, and state environmental inspections. As all these services currently work separately, farms are mainly responsible for the harvest, its good quality, environmental safety, biological integrity, optimization of the structure of agricultural landscapes and agroecosystems, increasing their resistance to degradation and preservation of agrobiodiversity [13; 14].

CONCLUSIONS

Only an effective system of integrated environmental monitoring of the agrosphere of Ukraine will allow us: 1) to determine the real environmental status of agrosphere resources (land, water, biotic); 2) to optimize the structure (agrolandscapes, agricultural lands, agroecosystems) by creating an optimal ratio between agrolandscape elements (arable and ecologically stabilizing lands — forest, wetlands, hayfields, pastures and nature reserve fund) for each agrolandscape facies, tract, locality, district, region, intra-regional agrolandscapes and unified physical and geographical regions; 3) to withdraw from intensive cultivation heavily degraded, polluted and unproductive agricultural lands, includingч. soils located on slopes with a steepness of 3° and more, low-productive soils, previously plowed water protection and coastal protection lands of the hydrographic network, land located directly around livestock complexes, poultry farms and settlements, radiation-contaminated lands contaminated with heavy metal salts and pesticides, and include them in the structural elements of the ecological network (as buffer and restoration areas) of the agrosphere with the prospect of renaturalization; 4) to conduct an environmental assessment of systems (farming, soil cultivation, fertilization, plant protection); 5) to assess and establish the norms of anthropogenic load on natural resources of the agrosphere (industrial enterprises, agrotechnologies, agrochemicals); 6) to establish the patterns of migration of pollutants in agroecosystems; 7) to propose ecological principles of agricultural waste management; 8) to determine the ecological state of rural settlements; 9) to establish the level of environmental safety in the agro-industrial complex; 10) to adapt agricultural production to the predicted climate change; 11) to propose a scientific basis for ecological forecasting of the development of the agrosphere based on the development and implementation of short-term and long-term local, regional and national programs for the

revival of agricultural landscape components, identifying «environmentally friendly» raw material zones, organic farming and obtaining environmentally safe products and raw materials based on agro-ecological zoning, cluster analysis and expert assessments; 12) prevent the irreversible loss of part of the gene, demo, price and ecological funds, increase the area of the nature reserve fund at the expense of low-productive, partially degraded and technogenically contaminated (including radioactive) agricultural lands; 13) to organize and widely implement the development of environmental education and upbringing, using a system of continuous environmental inspection, expertise (strategic environmental assessment and environmental impact assessment) of hazardous facilities that affect the ecological state of agricultural landscapes; 14) to carry out environmental certification of agricultural facilities, audit and management in the field of agro-natural resources. For this purpose, it is necessary to create appropriate environmental information banks for advisory and implementation centers on agro-environmental issues, which will enables the effective implementation of programs for the balanced development of the Ukrainian agrosphere.

ЛІТЕРАТУРА

1. Агроекологія: моногр. / за ред. О.І. Фурдичка. Київ: Аграр. наука, 2014. 400 с.
2. Фурдичко О.І., Дребот О.І., Дем'янюк О.С., Ткач Є.Д., Бунас А.А. Екологія агросфери: підруч. Київ: ДІА, 2022. 336 с.
3. Урушадзе О.Т., Урушадзе Т.Ф., Нагорнюк О.М., Мудрак О.В., Дребот О.І. Агролісівництво: еколого-збалансований розвиток: навч. посіб. / за ред. О.І. Фурдичка. Тбілісі-Київ-Херсон: Гельветика, 2019. 482 с.
4. Дребот О.І., Височанська М.Я., Комарова Н.В. Інституціональне забезпечення збалансованого використання та охорони земель сільськогосподарського призначення: моногр. / за ред. О.І. Дребот. Київ: Аграрна наука, 2021. 280 с.
5. Фурдичко О.І. Екологічні основи збалансованого розвитку агросфери в контексті європейської інтеграції України: моногр. Київ: ДІА, 2014. 432 с.
6. Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України». URL: https://www.iogu.gov.ua.
7. Яцук І.П., Моклячук Л.І. Екологічні індикатори зеленого зростання сільського господарства: моногр. Київ: ДІА, 2018. 384 с.
8. Рідей Н.М., Горбатенко А.А., Строкаль В.П., Шофолов Д.Л., Рибалко Ю.В. Геоінформаційний моніторинг екологічного стану локальних агроекосистем: моногр. Херсон: Д.С. Грінь, 2013. 236 с.
9. Тараріко О., Ільєнко Т., Кучма Т. Супутниковий агроекологічний моніторинг: підруч. / за ред. О. Дребот. Київ: Аграрна наука, 2023. 222 с.
10. Фурдичко О.І., Стадник А.П. Основи управління агроландшафтами України: моногр. Київ: Аграрна наука, 2012. 384 с.
11. Чоботько Г.М., Дем'янюк О.С., Райчук Л.А., Швиденко І.К. Радіоекологія з основами радіобіології: підруч. / за ред. Г.М. Чоботька. Київ: ДІА, 2022. 338 с.
12. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ / за ред. І.П. Яцука та С.А. Балюка. Київ. 2019. 108 с.
13. Мудрак О.В. Созологічні аспекти сільськогосподарської діяльності у Вінницькій області: стан, проблеми та перспективи використання. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету*. 2016. № 4. С. 197–211.
14. Мудрак О.В., Мудрак Г.В. Екологічний моніторинг агроландшафтів України як основа їх оптимізації та ефективного використання. *Сільське господарство та лісівництво: зб. наук. пр*. 2019. № 14. С. 231–244.
15. Стратегія біорізноманіття ЄС до 2030 року: повернення природи в наше життя. URL: https://uncg.org.ua/stratehiia-bioriznomanittia-ies-do-2030-roku-povernennia-pryrody-v-nashe-zhyttia.
16. Portukhay O., Lyko S., Mudrak O., Mudrak H. and Lohvynenko I. Agroecological bases of sustainable development strategy for the rural united territorial communities of the Western Polissya region. *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24. №. 6. P. 50–61.
17. Shumygai I.V., Mudrak O.V., Konishchuk V.V., Mudrak H.V. and Khrystetska M.V. Ecological monitoring of water bodies in Central Polissya (Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. № 1 (2). P. 434–440.

REFERENCES

1. Furdychko, O.I. (Ed.). (2014). *Ahroekolohiya: monohrafiya [Agroecology: monograph]*. Kyiv: Agrarian. nauka [in Ukrainian].
2. Furdychko, O.I., Drebot, O.I., Demianiuk, O.S., Tkach, E.D. & Bunas, A.A. (2022). *Ekolohiya ahrosfery: pidruchnyk [Ecology of the agrosphere: a textbook]*. Kyiv: DIA [in Ukrainian].
3. Urushadze, O.T., Urushadze, T.F., Nagornyuk, O.M., Mudrak, O.V., Drebot, O.I. & Furdychko, O.I. (Ed.). (2019). *Ahrolisivnytstvo: ekoloho-zbalansovanyy roz-*

vytok: navchal'nyy posibnyk [Agroforestry: ecologically balanced development: a textbook]. Tbilisi-Kyiv-Kherson [in Ukrainian].
4. Drebot, O.I. (Ed.), Vysocchanska, M.Y. & Komarova, N.V. (2021). *Instytutsional'ne zabezpechennya zbalansovanoho vykorystannya ta okhorony zemel' sil's'kohospodars'koho pryznachennya: monohrafiya [Institutional provision of balanced use and protection of agricultural land: monograph]*. Kyiv: Agrarian Science [in Ukrainian].
5. Furdychko, O.I. (2014). *Ekolohichni osnovy zbalansovanoho rozvytku ahrosfery v konteksti yevropeys'koyi intehratsiyi Ukrayiny: monohrafiya [Ecological bases of balanced development of agrosphere in the context of European integration of Ukraine: monograph]*. Kyiv: DIA [in Ukrainian].
6. DU «Instytut okhorony gruntiv Ukrayiny» [State Institution «Institute of Soil Protection of Ukraine»]. (2024). URL: https://www.iogu.gov.ua [in Ukrainian].
7. Yatsuk, I.P. & Moklyachuk, LI. (2018). *Ekolohichni indykatory zelenoho zrostannya sil's'koho hospodarstva: monohrafiya [Environmental indicators of green growth of agriculture: monograph]*. Kyiv: DIA [in Ukrainian].
8. Ridei, N.M., Gorbatenko, A.A., Strokal, V.P., Shofolov, D.L. & Rybalko, Y.V. (2013). *Heoinformatsiynyy monitorynh ekolohichnoho stanu lokal'nykh ahroekosystem: monohrafiya [Geoinformation monitoring of the ecological state of local agroecosystems: monograph]*. Kherson: Green DS [in Ukrainian].
9. Tarariko, O., Ilienko, T., Kuchma, T. & Drebot, O. (Ed.). (2023). *Suputnykovyy ahroekolohichnyy monitorynh: pidruchnyk [Satellite agroecological monitoring: a textbook]*. Kyiv: Agrarian Science [in Ukrainian].
10. Furdychko, O.I. & Stadnyk, A.P. (2012). *Osnovy upravlinnya ahrolandshaftamy Ukrayiny: monohrafiya [Fundamentals of agrolandscape management in Ukraine: monograph]*. Kyiv: Agrarian Science [in Ukrainian].
11. Chobotko, G.M. (Ed.), Demianiuk, O.S., Raichuk, L.A. & Shvydenko, I.K. (2022). *Radioekolohiya z osnovamy radiobiolohiyi: pidruchnyk [Radioecology with the basics of radiobiology: textbook]*. Kyiv: DIA [in Ukrainian].
12. Yatsuk, I.P. & Balyuk, S.A. (Eds.). (2019). *Metodyka provedennya ahrokhimichnoyi pasportyzatsiyi zemel' sil's'kohospodars'koho pryznachennya: kerivnyy normatyvnyy dokument [Methodology for agrochemical certification of agricultural land: guiding regulatory document]*. Kyiv [in Ukrainian].
13. Mudrak, O.V. (2016). Sozolohichni aspekty sil's'kohospodars'koyi diyal'nosti u Vinnyts'kiy oblasti: stan, problemy ta perspektyvy vykorystannya [Sozological aspects of agricultural activity in Vinnytsia region: state, problems and prospects of use]. *Zbirnyk naukovykh prats' Vinnyts'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu — Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian University, 4*, 197–211 [in Ukrainian].
14. Mudrak, O.V. & Mudrak, G.V. (2019). Ekolohichnyy monitorynh ahrolandshaftiv Ukrayiny yak osnova yikh optymizatsiyi ta efektyvnoho vykorystannya [Ecological monitoring of agrolandscapes of Ukraine as a basis for their optimization and efficient use]. *Sil's'ke hospodarstvo ta lisivnytstvo: zbirnyk naukovykh prats' — Agriculture and forestry: a collection of scientific, 14*, 231–244 [in Ukrainian].
15. Stratehiya bioriznomanittya YES do 2030 roku: povernennya pryrody v nashe zhyttya [EU Biodiversity Strategy to 2030: Bringing nature back into our lives]. (2024). URL: https://uncg.org.ua/stratehiia-bioriznomanittia-ies-do-2030-roku-povernennia-pryrody-v-nashe-zhyttia [in Ukrainian].
16. Portukhay, O., Lyko, S., Mudrak, O., Mudrak, H. & Lohvynenko, I. (2021). Agroecological bases of sustainable development strategy for the rural united territorial communities of the Western Polissya region. *Scientific Horizons, 24, 6*, 50–61 [in English].
17. Shumygai, I.V., Mudrak, O.V., Konishchuk, V.V., Mudrak, H.V. & Khrystetska, M.V. (2021). Ecological monitoring of water bodies in Central Polissya (Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology, 11 (2)*, 434–440 [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 03.07.2024

УДК 330.341.2; 504.062.2:628.5 DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311179

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЄВРОПЕЙСЬКИХ МАРКЕРІВ ЗБАЛАНСОВАНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ В УМОВАХ ЦИРКУЛЯРНОСТІ ЕКОНОМІКИ

В.М. Поліщук

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

Головним завданням статті є дослідження ролі збалансованого природокористування в побудові циркулярної моделі економіки європейських країн через застосування еколого-економічних маркерів. Визначено рівень забруднення навколишнього природного середовища та інших екологічних проблем, зокрема через ресурсні втрати. Запропоновано технологічний метод очищення стічних вод від естрогену, часточок мікропластику та нафти завдяки використанню оксиду заліза. Встановлено частку населення, для якого є доступною вторинна очистка стічних вод та її значення для водозбереження в умовах значного дефіциту води в Європі. Визначено загальні показники економічних втрат європейських країн, що залежать від кліматичних змін, адже погодні аномалії мають значний вплив на економічні процеси. Досліджено динаміку зміни площ лісистих земель за FAO європейських представників G7, сучасний потенціал лісових ресурсів України та визначено необхідність системного проведення електронного обліку деревини. Встановлено, що в країнах ЄС давно поширена практика повернення у виробництво багатьох видів сировини вже після переробки відходів та з'ясовано необхідність у найшвидшому впровадженні інноваційних переробних технологій. Виведено математичні формули для розрахунку коефіцієнта циклічності, кругового використання матеріалів та окреслено рівень використання європейськими виробниками циклічного матеріалу. Виявлено, що для визначення ефективності та динамічності перетворення відходів доречно використати індикатор, який вимірює частку перероблених побутових відходів у загальному обсязі їх утворення. Підраховано частку викопного палива у валовій доступній енергії європейських країн та здійснено аналіз динаміки споживання первинної енергії на прикладі скандинавських країн. Визначено рівень надходжень від екологічних податків більшості європейських країн та їх значення для циркулярної економіки. Рекомендовано Україні вивчати та застосовувати досвід країн Європейського Союзу для побудови власної моделі циркулярної економіки на принципах збалансованого природокористування та сталого розвитку.

Ключові слова: *знеліснення, кліматичні зміни, вторинна очистка, коефіцієнт циклічності, сміттєпереробні заводи, викопне паливо, переробка відходів, відновлювальна енергетика.*

ВСТУП

В активній фазі економічної глобалізації відбуваються занадто швидкі процеси поглибленого ресурсокористування, що викликають певний дисбаланс у взаємодії «природа — суспільство», якій притаманна діалектична єдність. Значна динаміка розвитку світової економіки передбачає формування господарства новітнього типу, в якому інноваційна економіка буде орієнтуватись на оптимальне розв'язання еколого-економічних проблем. У базовому стандарті моделювання еволюційного розвитку економіки сучасності особливої уваги заслуговують інструменти формування моделі «зеленої» економіки, яка забезпечує економічний прогрес, що характеризується зростанням соціально-економічних показників та підвищенням рівня екологічної безпеки. Наразі доцільним є впровадження екологічних інноваційних технологій виробництва, які призведуть до структурної модернізації процесів виробництва і споживання та дадуть можливість отримати високі економічні результати без погіршення якості навколишнього природного середовища. Фундаментальні принципи

© В.М. Поліщук, 2024

збалансованого природокористування базуються на необхідності використання науково обґрунтованих підходів, які передбачають системне впровадження ефективних технологій раціонального використання природних ресурсів, трансформацію виробництва, використання безвідходних технологічних процесів промисловцями та аграріями.

Метою статті є визначення реального рівня збалансованого природокористування європейських країн завдяки використанню інструментів системного аналізу для формування основних пріоритетів щодо еколого-економічної трансформації господарства України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Останнім часом в умовах функціонування циркулярної економіки проводиться багаторівнева наукова оцінка тих економічних процесів, які стимулюють позитивні зміни у суспільстві та природі. Для визначення можливостей економіки прогресувати без зростання навантаження на навколишнє природне середовище прикладаються значні зусилля вітчизняними та зарубіжними дослідниками. Оцінити глибину досліджень із цієї проблематики можна, ознайомившись із працями багатьох вчених, серед яких виділяються: М.О. Варфоломєєв, О.О. Веклич, О.А. Волошина, Н.І. Горбаль, Б.М. Данилишин, Т.В. Іванова, О.І. Ковалів, А.В. Печенюк, О.М. Чабанюк та ін.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для досягнення поставленої мети використано такі методи наукових досліджень: загальнонаукові (порівняльний аналіз, синтез); методи статистичної обробки результатів досліджень; аналізу та синтезу (обґрунтування методології системного дослідження); абстрактно-логічний (теоретичні узагальнення та формулювання висновків); емпіричний (опис); техніко-економічної оцінки; теоретичні й функціональні методи.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Надважливим та послідовним чинником екологізації господарства в цивілізованих країнах ринкової економіки є проведення чіткої політики природозбереження із врахуванням сучасних ресурсних можливостей. Принципи збалансованого природокористування найбільш активно застосовуються у тих країнах, в яких регулятором фундаментальних еколого-економічних процесів є природоохоронна політика. Країни — члени Європейського Союзу вбачають стратегічну необхідність у застосуванні безвідходних технологій, або тих, що передбачають максимально ефективне використання ресурсів. Створення інноваційних систем природокористування пов'язано з оптимізацією процесів виробництва і споживання товарів та послуг із мінімізацією негативного впливу на навколишнє природне середовище [1].

Пріоритетом у розвитку циркулярної економіки є необхідність використання замкнених циклів виробництв, де основною умовою стає цілісне та структурне використання відходів із метою отримання нової продукції. Це сприятиме більш ефективному використанню природних ресурсів, скоротить обсяги продукування відходів та знизить негативне навантаження на довкілля. Загальна концепція циркулярної економіки передбачає широке застосування енерго- та ресурсоощадних технологій завдяки зниженню рівня споживання, повторного використання і переробки відходів. Сьогодні переважна більшість країн ЄС поставили за мету прискорити розвиток саме циркулярної економіки, адже рівень актуальності екологічної проблематики залишається досить високим. Хоча зрозуміло, що й країни Англо-Америки, країни нової індустріалізації Латинської Америки та Азійсько-Тихоокеанського регіону також вбачають стратегічну перспективу у прискоренні побудови сучасної моделі циркулярної економіки [2].

Рівень гостроти екологічної проблематики в Європі (*табл. 1*) характеризується сталими показниками, відповідно, в процесі

Таблиця 1. **Рівень забруднення та інших екологічних проблем деяких європейських країн у період 2016–2023 рр., %**

Країни	2016	2017	2018	2019	2020	2023
Бельгія	13,2	12,7	14,6	15,0	11,8	13,3
Болгарія	15,1	14,8	14,1	13,1	11,6	10,4
Данія	6,8	7,9	8,1	8,4	9,4	7,3
Естонія	9,9	8,7	8,8	10,2	8,1	8,6
Іспанія	10,1	8,2	10,1	9,9	11,8	10,7
Латвія	17,2	18,4	19,1	18,3	15,7	15,4
Німеччина	23,2	24,5	24,8	25,2	13,5	16,8
Словаччина	9,3	10,7	9,6	9,5	9,8	5,8
Словенія	15,9	16,8	16,4	16,2	15,5	14,9
Фінляндія	7,2	7,9	8,7	9,4	9,2	9,7
Чехія	13,5	11,6	11,8	11,1	8,8	7,9
Швеція	6,3	6,8	6,4	6,6	5,9	5,0

Примітка: складено автором на основі даних [3].

забруднення навколишнього природного середовища обов'язково необхідно враховувати економічні результати ефективності роботи суб'єктів господарювання та використовувати індикатори ресурсних втрат.

Згідно з результатами дослідження, динаміка рівня забруднення та інших екологічних проблем свідчить про незначні коливання показників за період 2016–2023 рр. Найбільш істотно знизився негативний екологічний складник у Словаччині на 3,5%, Болгарії — на 4,7, Чехії — на 5,6, Німеччині — на 6,4%, тоді як у Данії, Іспанії, Фінляндії екологічна проблематика навіть загострилась. У групі наведених країн тривалий час реалізовується екологічна політика, при тому, що рівень екологізації економіки зберігається на доволі високому рівні. Здійснюючи аналіз цього показника, необхідно враховувати виробничі потужності економіки країн, технологічність промислової інфраструктури, соціальну складову, ефективність прийняття управлінських природоохоронних рішень та загальні показники економічної стабільності.

Однією із найбільших екологічних проблем є системне забруднення води, адже лише підприємства світової хімічної промисловості щороку скидають у водойми до 380–420 мегатонн виробничих відходів, тому повне очищення стічних вод від різних груп токсичних речовин є нагальною потребою. Досить ефективним та актуальним вважається метод вилучення естрогену з води завдяки використанню оксиду заліза. Гормон естроген із відходами аграрного сектору та комунального господарства потрапляє у водойми, завдаючи шкоди гідробіонтам.

Використовуючи «розумну іржу», що представляє собою сферичні мікроскопічні частинки оксиду заліза, які покриті молекулами фосфорної кислоти завдяки зв'язувальній дії, можна поглинати різні види забруднювальних речовин, що містяться у воді. До того ж власне частинки оксиду заліза суперпарамагнітні, їх можна розмішати із забрудненою водою, а потім видалити з неї, обертаючи магніт через рідину. Під час витягування з води частинок «розумної іржі» вони забирають із собою забруднювальні речовини, а самі забруднювачі надалі можна вилучити зі сфер та утилізувати. «Розумну іржу» можна також використовувати для видалення з води часточок мікропластику та нафти. Необхідно перевірити таку технологію у природних умовах і водночас її максимальної ефективності застосовувати у промислових масштабах.

Рівень очищення комунальних стічних вод країнами ЄС можна встановити завдя-

ки індикатору, що вказує відсоток населення, підключеного до систем очищення стічних вод із щонайменше вторинним очищенням. У даній системі стічні води очищаються за допомогою процесу, що передбачає біологічне очищення з вторинним відстоюванням [4]. Це зумовлює видалення органічного матеріалу, що знижує біохімічну потребу в оксигені мінімум на 70% і хімічну потребу в O_2 щонайменше на 75%. Відсоток населення, для якого є доступною вторинна очистка стічних вод, вказано у *табл. 2*.

Використавши показники, що наведені в *табл. 2*, можна простежити зміну частки населення, підключеного до вторинної очистки стічних вод, яка найбільше зросла в Чехії, Литві, Словаччині, Румунії, Угорщині, Норвегії й Албанії на рівні 2,4–14,29%, тоді як в Іспанії, Греції, Латвії, Австрії та Хорватії цей показник навіть погіршився на 0,26–5,51%. Загальний показник по ЄС становить за досліджуваний період 0,88%, що свідчить про доволі стійкий рівень очищення стічних вод та високий ступінь пріоритетності для країн якісного очищення стічних вод та водозбереження, враховуючий значний обсяг дефіциту води і високий рівень оплати за її використання.

У зв'язку з глобальними кліматичними змінами підвищується рівень екологічних ризиків для економіки та для суспільства загалом. Стає тоншим льодовиковий і сніговий покрив на півночі Європи, а в часи минулих геологічних епох набагато менші

Таблиця 2. **Частка населення, підключена, принаймні, до вторинної очистки стічних вод європейських країн за період 2017–2021 рр., %**

Країни	2017	2018	2019	2020	2021	2021/2017
Євросоюз	79,99	80,36	80,55	80,72	80,87	0,88
Австрія	99,78	99,78	99,78	99,10	99,10	–0,68
Албанія	7,34	33,60	31,80	30,90	21,63	14,29
Бельгія	83,33	84,34	84,25	83,58	84,03	0,7
Греція	94,80	94,80	94,20	94,70	94,70	–0,1
Данія	97,30	97,10	97,50	97,70	97,80	0,5
Естонія	83,00	83,00	83,00	83,00	82,00	–1,0
Іспанія	87,19	88,21	87,17	86,93	86,93	–0,26
Ірландія	61,56	61,83	61,86	62,01	62,30	0,74
Латвія	77,14	75,44	77,52	76,97	76,48	–0,66
Литва	73,78	75,80	76,55	76,58	76,94	3,16
Мальта	6,70	0,00	0,00	6,54	7,40	0,7
Нідерланди	99,50	99,50	99,50	99,52	99,52	0,02
Норвегія	58,55	66,82	66,12	66,96	67,84	9,29
Польща	73,50	74,00	74,44	74,78	75,20	1,7
Румунія	46,50	48,10	49,40	51,80	52,60	6,1
Сербія	12,60	12,87	13,14	13,77	14,67	2,07
Словаччина	65,00	65,70	68,10	68,80	69,90	4,9
Словенія	67,61	68,95	69,52	69,32	67,61	0
Туреччина	60,48	60,79	61,03	61,12	61,13	0,65
Угорщина	79,12	80,36	80,26	80,91	84,23	5,11
Фінляндія	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	0
Хорватія	36,90	36,90	36,90	36,90	31,39	–5,51
Чехія	82,30	82,30	82,60	83,40	84,70	2,4
Швеція	95,00	96,00	96,00	96,00	96,00	1,0

Примітка: складено автором на основі даних [3; 4].

зміни у концентрації в атмосфері парникових газів повністю змінили цілісність та якість екосистем. Через різку зміну погодних умов змінюються базові пріоритети подальшого розвитку рослинництва та принципові підходи у відгодівлі сільськогосподарських тварин. Глобальна кліматична політика має консолідувати зусилля всього світу для врегулювання процесів подальшого економічного розвитку та зниження рівня ризиків, що пов'язані з різкою зміною погодних умов. Для цього необхідно хоча б поступово відмовлятись від використання викопних паливно-енергетичних ресурсів і більш якісно застосовувати потенціал кліматичних ресурсів та інших складових природних екосистем [5]. Точно оцінити наслідки від кліматичних ризиків надзвичайно складно, але комплексне використання низки індикаторів дасть можливість змоделювати наявну ситуацію та здійснити обґрунтоване прогнозування. До того ж варто обов'язково застосувати показник, що вимірює економічні втрати від погодних аномалій і кліматичних явищ, який крім річних показників представляє згладжений часовий ряд на основі 30-річних середніх значень. Згідно з періодом нормального клімату, визначеного Всесвітньою метеорологічною організацією, ці середні показники за досліджуваний період відображають тенденції, виключаючи значну мінливість клімату в більш коротких часових масштабах через природні чинники. Індикатор визначається завдяки базі даних CATDAT RiskLayer. Сумарні показники економічних втрат європейських країн, що залежать від кліматичних змін,

Таблиця 3. **Економічні втрати, пов'язані зі зміною клімату європейських країн за 2018–2022 рр., млн євро**

Країни	2018	2019	2020	2021	2022	2022/2018
Євросоюз	22 641	25 111	14 470	59 437	52 259	29618
Австрія	363	573	226	789	200	–163
Бельгія	203	275	513	10 723	807	604
Греція	70	280	1 082	623	20	–50
Данія	90	0	61	0	5	–85
Іспанія	2 054	4 661	2 282	2 752	10 580	8526
Італія	5 355	4 948	2 552	647	16 739	11384
Люксембург	0	155	19	179	0	0
Нідерланди	0	44	502	700	731	731
Німеччина	9 520	7 742	1 508	36 393	10 342	822
Норвегія	100	105	29	133	75	–25
Польща	784	0	45	27	1	–783
Португалія	166	562	93	3	764	598
Румунія	134	0	433	29	1 026	892
Словаччина	0	30	19	36	77	77
Словенія	0	183	8	0	152	152
Туреччина	10	128	304	631	250	240
Угорщина	7	12	9	29	2 066	2059
Фінляндія	0	0	93	47	0	0
Франція	3 235	5 419	4 527	5 782	8 316	5081
Хорватія	307	0	56	0	325	18
Чехія	143	0	165	622	72	–71
Швейцарія	150	181	134	362	18	–132
Швеція	95	152	68	47	0	–95

Примітка: складено автором на основі даних [3; 6].

наведені у *табл. 3*, в якій простежується навіть певна фінансова закономірність.

Проаналізувавши дані, представлені в *табл. 3*, встановлено, що за період 2018–2022 рр. обсяг економічних втрат від зміни клімату знизився в Норвегії, Греції, Данії, Чехії, Швеції, Швейцарії, Австрії та Польщі від 25 до 783 млн євро.

Додаткове ж фінансове навантаження на видаткову частину бюджету через потепління клімату найбільше відчувають Бельгія, Нідерланди, Німеччина, Румунія, Угорщина, Франція, Іспанія та Італія в обсязі від 604 до 11384 млн євро. Загальні економічні втрати по Європейському Союзі становлять 29618 млн євро, адже останні кліматичні зміни вносять значні корективи в роботу економіки країн, а у деяких навіть викликають дестабілізувальний ефект.

Активне знеліснення значних територій у країнах ЄС не лише прискорює кліматичні зміни, але й корегує сировинний потенціал та впливає на виробничі потужності підприємств целюлозно-паперової, меблевої промисловості та багатьох суміжних виробництв. Динаміку зміни площ лісистих земель згідно з даними FAO (англ. *Food and Agriculture Organization*) найкраще простежити за показниками країн — членів G7 упродовж трьох десятків років (*рис. 1*).

Так, у Великій Британії впродовж досліджуваного періоду лісистість земель зростала поступово і у 2020 р. сягала 3190 тис. га, в Італії цей показник за 1990–2020 рр. збільшився на 1976,38 тис. га. Площа лісистих земель у Німеччині у 2015–2020 рр. не змінювалась та становила 11419 тис. га, а за весь період дослідження зросла на 119 га, тоді як у Франції показник має позитивну динаміку за 30 років на рівні 2817 га. Загалом, по ЄС площа лісистих земель неістотно скоротилась у Норвегії, Швеції, Португалії, у всіх інших країнах — мінімальне збільшення цього індикатора. Сумарна площа лісового фонду в Україні становить близько 10,4 млн га, з яких лісовою рослинністю покрито — 9,6 млн га. Показник лісистості території України сягає 15,9%. Рівень заповідних лісів становить близько 16% при тому, що половина площ лісів має переважно екологічне значення. Запас деревини в українських лісах визначено в межах 2,3 млрд м^3, середньорічний показник приросту деревини у лісах на одиницю площі сягає 3,9 м^3/га. Програма захисту лісів, що належать до сфери управління Держлісагентства України реалізується згідно зі ст. 89 Лісового кодексу України, своєю чергою, основні повноваження працівників Держлісохорони визначені

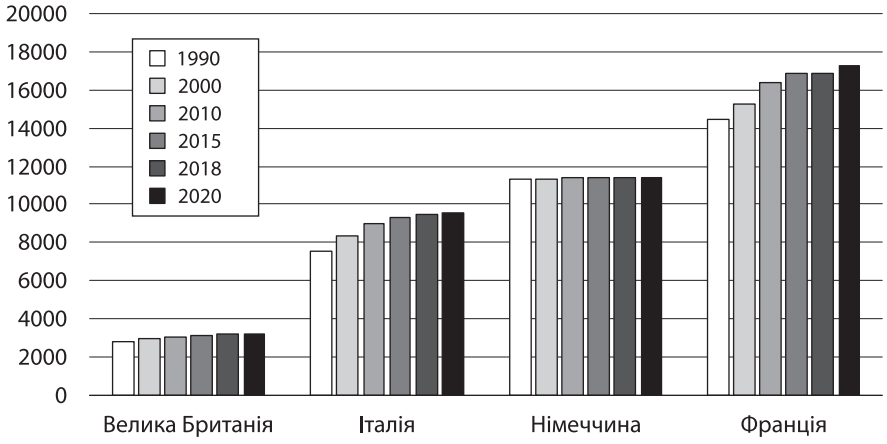


Рис. 1. Динаміка зміни площ лісистих земель за FAO європейських представників G7 у період 1990–2020 рр., тис. га

Примітка: розроблено автором за даними [3; 6].

ст. 90–94 відповідного кодексу, а Положення про Державну лісову охорону, затверджено постановою Кабміну України від 16.09.2009 № 976. У нашій державі, як і в усіх країнах ЄС, запроваджено обов'язкове проведення електронного обліку деревини постійними лісокористувачами та власниками лісів. Систематизація маркерів походження, заготівлі та реалізації лісоматеріалів проводиться Єдиною державною системою електронного обліку деревини. Європейські й українські лісокористувачі потребують значних капітальних інвестицій у основні засоби з метою покращання процесів лісозаготівлі та часткового нівелювання наслідків амортизаційних процесів. Також важливо спрямувати максимальні зусилля працівників лісогосподарських підприємств, установ ПЗФ, держслужбовців у сфері природокористування та охорони навколишнього середовища на необхідність збереження лісового біорізноманіття [7].

До категорії глобальних відносять ресурсну проблему, адже рівень виснаження багатьох видів природних ресурсів досяг критичного рівня. Неощадне освоєння сировини веде до вичерпання запасів та не дає часу на її відновлення. Тому природні ресурси стають дорожчими, а їх якість часто погіршується. Маркером достатності ресурсів є баланс між запасами та обсягами споживання сировини. В країнах «третього світу» через швидке збільшення кількості населення значно зростають обсяги ресурсокористування, тоді як у країнах ринкової економіки в умовах демографічної кризи дедалі частіше використовують сировинно-заощадливі технології, які мінімізують обсяг виробничих відходів та стимулюють вторинне використання сировини [8]. В циклічній економіці передбачається системне відновлення, багаторазове повторне використання та раціональне споживання природної сировини, що впливає на рівень конкурентоспроможності та екологічності виробництв. У країнах ЄС давно поширена практика повернення у виробництво багатьох видів сировини вже після переробки відходів (*табл. 4*).

Таблиця 4. **Частка деяких видів сировини, яка повертається у виробництво після переробки відходів у країнах ЄС за період 2013–2022 рр., %**

Вид сировини	2013	2016	2019	2022
Алюміній	35	12,4	12,3	32
Ванадій	0	44,0	1,7	1
Вапняк	0	58,0	19,0	1
Гіпс	1	1,1	1,1	1
Залізо	22	24,0	31,5	31
Ітрій	0	31,4	31,4	31
Кобальт	16	0	22,1	22
Літій	0	0	0,1	0
Магній	14	9,5	13,4	13
Мідь	20	55,0	16,9	55
Молібден	17	30,0	30,0	30
Натур. каучук	0	0,9	1,0	5
Неодим	0	1,3	1,3	1
Нікель	32	33,9	17,0	16
Паладій	35	9,7	27,8	10
Платина	35	11,5	25,3	11
Празеодим	0	10,0	10,0	10
Тантал	4	1,0	5,0	13
Телур	0	1,0	1,0	1
Титан	6	19,1	19,1	1
Цинк	8	30,8	31,0	34

Примітка: складено автором на основі даних [3; 6; 7].

Згідно з показниками *табл. 4*, у країнах ЄС упродовж 2013–2022 рр. найбільше серед виділених хімічних елементів підвищився рівень переробки: міді — на 35%, ітрію — на 31, цинку — на 26, молібдену — на 13, празеодиму — на 10, заліза і танталу — на 9%. Найбільш істотно знизився рівень переробки: паладію — на 25%, платини — на 24, нікелю — на 16, титану — на 5, алюмінію — на 3%. Рівень переробки матеріалів напряму залежить від величини попиту на певну сировину, загальної кон'юнктури ринку, переробних потужностей та технологічних можливостей. Європейський Союз лідирує у світі за темпами впровадження інноваційних переробних технологій, що дає можливість частково компенсувати дефіцит сировини та

навіть отримати нові проміжні матеріали. Нестача сировини є найкращим стимулятором для інвестування у створення нових переробних технологій [9]. Найбільшим виробничим пріоритетом має стати безвідходне виробництво, максимальний рівень переробки сировини, заміна природних матеріалів штучно синтезованими.

Використано показник, який визначає частку матеріалів, що переробляються та повертаються в економіку, таким чином заощаджуючи видобуток первинної сировини у системі загального використання матеріалів. Циркуляційне використання матеріалів, також відоме як коефіцієнт циклічності, необхідно визначати за математичною формулою:

$$КЦ = ЦВ / ЗВ, \quad (1)$$

де *КЦ* — коефіцієнт циклічності; *ЦВ* — циклічне використання матеріалів; *ЗВ* — загальне використання матеріалу.

Своєю чергою, загальне використання матеріалів (ЗВ) містить суму сукупного внутрішнього споживання матеріалів (СВСМ) і циклічного використання матеріалів (ЦВ). СВСМ визначається в рахунках матеріальних потоків у масштабах економіки. Кругове використання матеріалів можна визначити за математичною формулою:

$$КВМ = КВ – ІВ + ЕВ, \quad (2)$$

де *КВМ* — кругове використання матеріалів; *КВ* — кількість відходів, перероблених на вітчизняних заводах з утилізації; *ІВ* — імпортовані відходи, призначені для утилізації; *ЕВ* — експортовані відходи, призначені для утилізації за кордоном.

Відходи, що перероблені на побутових заводах з утилізації, охоплюють операції з утилізації від R2 до R11, як визначено в Рамковій директиві про відходи 75/442/ЕЕС. Кількість імпортованих і експортованих відходів, які підлягають утилізації, орієнтовані на європейську статистику міжнародної торгівлі товарами. Більш високе значення коефіцієнта циркуляції означає, що більше вторинних матеріалів замінює первинну сировину, аби знизити негативний вплив видобутку первинного матеріалу на навколишнє середовище. Рівень використання європейськими виробниками циклічного матеріалу за 2015–2022 рр. представлено у *табл. 5*.

Згідно з результатами аналізу даних *табл. 5*, динаміка коефіцієнта використання циклічного матеріалу є незначною,

Таблиця 5. **Коефіцієнт використання циклічного матеріалу європейських країн у період 2015–2022 рр., %**

Країни	2015	2017	2019	2020	2021	2022
Євросоюз	11,2	11,5	11,3	11,6	11,4	11,5
Австрія	11,2	12,1	11,6	11,5	12,8	13,8
Бельгія	18,2	19,1	20,7	23,0	23,7	22,2
Болгарія	3,1	3,5	4,1	5,9	4,8	4,8
Греція	1,8	2,5	3,4	4,2	3,5	3,1
Данія	8,3	7,9	7,6	7,6	8,0	7,4
Естонія	11,7	12,7	15,4	16,5	15,9	16,0
Іспанія	7,5	8,8	9,0	9,2	6,9	7,1
Італія	17,2	18,4	18,8	20,6	19,0	18,7
Ірландія	1,9	1,7	1,6	1,7	1,9	1,8
Латвія	5,3	5,4	4,7	5,2	5,6	5,4
Литва	4,1	4,5	3,9	4,0	4,2	4,1
Люксембург	9,5	10,4	9,0	9,6	4,1	5,2
Нідерланди	26,6	26,8	25,6	27,2	28,5	27,5
Німеччина	11,7	11,7	12,5	12,9	12,7	13,0
Польща	11,9	10,4	9,2	7,3	9,1	8,4

Закінчення таблиці 5

Країни	2015	2017	2019	2020	2021	2022
Португалія	2,1	2,0	2,3	2,5	2,6	2,6
Румунія	1,7	1,8	1,4	1,5	1,4	1,4
Словаччина	5,1	5,0	8,4	10,4	8,2	9,1
Словенія	8,6	9,8	10,2	9,9	10,1	9,4
Угорщина	5,8	6,4	5,6	5,2	7,3	7,9
Фінляндія	4,9	4,4	4,5	4,4	1,6	0,6
Франція	18,7	18,7	18,1	18,7	18,7	19,3
Хорватія	4,6	5,1	5,3	5,5	5,7	5,8
Чехія	6,9	9,1	10,5	11,5	11,4	11,9
Швеція	6,7	6,7	6,4	6,9	6,2	6,1

Примітка: складено автором на основі даних [3; 6].

свідченням чого стала величина показника практично у всіх країнах за досліджуваний період. Так, упродовж 2015–2022 рр. найбільше підвищився коефіцієнт в: Угорщині — на 2,1%, Австрії — на 2,6, Словаччині та Бельгії — на 4, Естонії — на 4,3, Чехії — на 5%. Знизився коефіцієнт використання циклічного матеріалу найбільше в: Данії — на 0,9%, Польщі — на 3,5%, Люксембурзі та Фінляндії — на 4,3%, тоді як показник по ЄС зріс лише на 0,3%. Це свідчить про європейську економічну стабільність, прагматичний підхід до використання первинних та вторинних ресурсів, враховуючи виробничий потенціал і потужності використання циклічних матеріалів різними галузями економіки країн Європи.

Вторинна переробка відходів є найефективнішим методом утилізації, адже скорочуються обсяги побутового та виробничого сміття, а рівень освоєння природних ресурсів системно знижується. У країнах ЄС десятки років потужні інвестиції спрямовуються на вдосконалення технологій вторинної переробки та утилізації відходів. Обсяг переробки відходів пропорційний показникам утворення відходів, що є типовим для європейських держав [10; 11]. Для визначення ефективності і динамічності перетворення відходів у цьому контексті необхідно використати індикатор, який вимірює частку перероблених побутових відходів у загальному обсязі їх утворення. Переробка включає перетворення матеріалів, компостування та анаеробне зброджування. Співвідношення виражається у відсотках, оскільки обидва терміни вимірюються в одній одиниці, а саме в тоннах. У *табл. 6* наведено рівень переробки побутових відходів у низці країн у період 2000–2022 рр.

Проведений аналіз даних *табл. 6* свідчить про тотальне зростання рівня переробки відходів побутового походження за час дослідження. Найбільш значною динамікою характеризуються Естонія, Литва, Польща, Словаччина, Словенія, Угорщина, в яких рівень переробки збільшився від 31,2 до 56,6%. У більш економічно розвинених країнах рівень зростання переробки побутових відходів менш істотний, адже в них тривалий час формувалась культура поводження з відходами, а урядова політика постійно акцентує увагу суспільства на стратегічній важливості цього питання. В Україні, як і в багатьох інших країнах Європи, досить гостро стоїть проблема низького рівня ефективності управління відходами, а питання адміністрування відходів вивчено недостатньо. Однак, ресайклінг перетворюється у вагому складову екологічної політики країни. У нашій державі фактично відсутні сміттєпереробні заводи, що дають можливість отримувати вторинну сировину та знижувати обсяги захоронення відходів. Наприклад, у ФРН функціонує близько чотирьох сотень сміттєпереробних заводів, галузь

Таблиця 6. **Рівень переробки побутових відходів деяких європейських країн у період 2000–2022 рр., %**

Країни	2000	2010	2015	2020	2021	2022
Євросоюз	27,3	38,0	44,9	48,7	49,8	48,6
Бельгія	49,7	54,8	53,5	51,4	55,5	52,7
Данія	37,1	42,4	47,4	45,0	57,6	52,3
Естонія	2,2	18,0	28,3	28,9	30,3	33,2
Іспанія	18,4	29,2	30,0	38,9	42,2	38,6
Кіпр	3,0	11,2	16,7	17,0	14,0	14,8
Литва	0,0	4,9	33,2	45,3	44,3	48,4
Люксембург	35,8	46,5	47,4	52,8	55,3	54,6
Мальта	9,6	8,9	10,9	10,9	13,6	12,2
Нідерланди	44,1	49,2	51,8	56,9	57,8	57,5
Німеччина	52,5	62,5	66,7	70,3	69,3	69,1
Норвегія	30,6	42,1	42,8	41,0	36,9	41,2
Польща	2,1	16,3	32,5	38,7	40,3	40,9
Румунія	0,0	12,8	13,3	11,9	11,3	12,1
Словаччина	5,2	9,1	14,9	45,3	48,9	49,5
Словенія	6,0	22,4	54,1	59,3	60,8	62,6
Угорщина	1,6	19,6	32,2	32,0	34,9	32,8
Франція	24,5	36,0	40,7	41,7	43,8	41,8
Швейцарія	45,3	50,5	52,7	52,8	53,3	52,2
Швеція	38,5	47,8	47,6	38,3	39,5	39,7

Примітка: складено автором на основі даних [3; 6; 12].

має оборот понад 250 млрд євро щороку [9; 10].

Процес реформування енергетичної галузі залишається досить складним, але легко прогнозованим. Сьогодні частка використання відновлювальних джерел енергії у країнах ЄС сягає 29% від загальної кількості виробленої енергії, тоді як в Україні такий показник не перевищує 2%. Завдяки екологічним та фінансовим інструментам можливе ефективне стимулювання розвитку «зеленої» енергетики уже в короткостроковій перспективі. В Україні ДП «Гарантований покупець» сплатило виробникам енергії з відновлюваних джерел 513,6 млн грн лише за квітень 2023 р., на що були використані кошти отримані від НЕК «Укренерго». Загалом за 2023 р. сума таких виплат становила 30,348 млрд грн виробникам електроенергії з ВДЕ, але викопне паливо залишається домінувальною сировиною для роботи електрогенерації. Знижується поступово рівень видобутку паливно-енергетичних ресурсів, що відкриває шлях до прискореного розвитку відновлювальної енергетики [13]. У *табл. 7* представлено рівень використання викопного палива у валовій доступній енергії європейських країн в період 2015–2022 рр.

Аналізуючи дані, наведені в *табл. 7*, простежується чітка загальна тенденція зниження рівня застосування викопного палива практично у всіх країнах за цей період дослідження. Особливо це стосується Ірландії, Кіпру, Литви, Чехії, Нідерландів, Люксембургу, Португалії, Фінляндії, Латвії, Естонії, та Данії, в яких рівень використання мінеральної паливної сировини у валовій доступній енергії скоротився на 4,29–10,84%. Цей показник мінімально збільшився у Швеції, Угорщині, Мальті та Франції, але у цих країнах показник сукупного ВВП у ринкових цінах також значно підвищився. Для прикладу, у Франції за 2015–2022 рр. ВВП збільшився на 440660 млн євро, що безпосередньо пов'я-

Таблиця 7. **Частка викопного палива у валовій доступній енергії європейських країн у період 2015–2022 рр., %**

Країни	2015	2019	2020	2021	2022	2022/2015
Євросоюз	72,43	71,37	69,75	69,88	70,86	–1,57
Австрія	67,65	69,24	66,96	66,43	65,96	–1,69
Бельгія	79,62	76,46	76,49	73,61	73,89	–5,73
Болгарія	72,71	66,24	62,61	66,31	69,15	–3,56
Греція	85,83	84,56	81,37	82,18	83,37	–2,46
Данія	69,63	64,14	59,02	57,28	58,79	–10,84
Естонія	83,37	73,24	65,91	68,51	72,75	–10,62
Іспанія	75,54	74,50	70,77	72,36	74,08	–1,46
Італія	80,81	79,26	77,70	78,37	79,07	–1,74
Ірландія	91,65	88,74	87,16	87,69	87,36	–4,29
Кіпр	93,86	91,52	89,13	88,83	89,29	–4,57
Латвія	63,45	61,20	57,34	57,06	53,32	–10,13
Литва	68,13	66,31	67,16	64,46	63,96	–4,17
Люксембург	83,49	81,78	78,08	78,67	77,06	–6,43
Мальта	95,13	96,72	96,84	96,33	96,12	0,99
Нідерланди	93,31	92,38	90,42	89,11	87,58	–5,73
Німеччина	81,46	80,02	78,35	78,77	80,33	–1,13
Польща	90,50	87,18	86,33	88,00	87,11	–3,39
Португалія	76,21	74,45	70,59	68,27	68,59	–7,62
Румунія	73,89	72,96	71,75	72,47	71,80	–2,09
Словаччина	62,04	62,43	62,18	63,78	61,68	–0,36
Словенія	62,81	63,98	60,99	60,98	60,67	–2,14
Угорщина	67,50	69,98	69,31	69,43	67,57	0,07
Фінляндія	46,49	42,79	41,42	38,26	38,33	–8,16
Франція	49,21	49,55	47,85	48,14	51,06	1,85
Хорватія	69,93	69,78	68,86	67,28	69,16	–0,77
Чехія	76,24	73,55	70,81	71,44	71,28	–4,96
Швеція	30,29	31,62	31,44	31,38	30,32	0,03

Примітка: складено автором на основі даних [3; 14].

зано із зростанням потужностей енергетичної галузі, в якій понад 70% генерації забезпечують АЕС завдяки функціонуванню 56 ядерних реакторів, що використовують як сировину уранові руди Центрального масиву. Цілком зрозуміло, що поступово значення викопного палива все одно буде втрачатись і зупинити цей процес уже неможливо.

Маркери споживання первинної енергії є досить динамічними, для визначення поточної тенденції важливо використати показник, що вимірює загальні енергетичні потреби країни, за винятком неенергетичного використання енергоносіїв, зокрема природного газу, який застосовується не для спалювання, а для виробництва хімічної продукції. Споживання первинної енергії охоплює енергоспоживання кінцевими користувачами, як-от промисловість, транспорт, домогосподарства, послуги та сільське господарство, а також споживання енергії власне енергетичним сектором для виробництва і перетворення енергії та втрати, що виникають під час перетворення енергії і при передачі й розподілі (*рис. 2*).

З *рис. 2* також видно, що в Данії за 2000–2022 рр. обсяг споживання первинної енергії знизився на 3,1 млн т нафтового еквівалента (н. е.), у Фінляндії — на

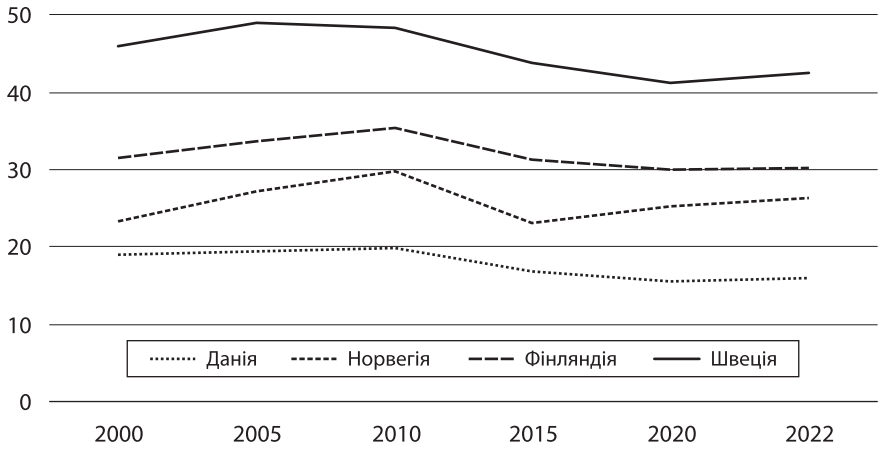


Рис. 2. Динаміка споживання первинної енергії на прикладі скандинавських країн у період 2000–2022 рр. (млн т н. е.)

Примітка: розроблено автором за даними [3; 6; 14].

1,4 млн т н. е., в Швеції — на 3,5 млн т н. е., тоді як у Норвегії досліджуваний показник зріс на 2,9 млн т н. е. Скоротилось споживання по ЄС за досліджуваний період на 139,3 млн т н. е., що свідчить про високий рівень ефективності екологізації енергетичної галузі.

Одним із найбільш дієвих фінансових інструментів, що застосовується в циркулярній економіці для визначення системного балансу у природокористуванні є екологічне оподаткування, яке регулює переважну більшість еколого-економічних процесів [15]. У країнах — членах Європейського Союзу екологічні податки виконують не лише бюджетоформувальну роль, але також вони є важливим чинником екологізації виробництва та реалізації природоохоронної політики. Рівень надходжень від екологічних податків більшості європейських країн наведено у *табл. 8*.

Згідно з даними *табл. 8*, за досліджуваний період рівень надходжень від екологічних податків знизився у переважній

Таблиця 8. **Динаміка надходжень від екологічних податків європейських країн у період 2013–2022 рр. (% від ВВП)**

Країни	2013	2016	2019	2020	2021	2022
Євросоюз	2,48	2,48	2,36	2,24	2,25	2,02
Австрія	2,38	2,34	2,28	2,09	2,17	1,88
Бельгія	2,52	2,67	2,64	2,52	2,47	2,22
Болгарія	2,86	2,98	2,99	3,02	2,78	4,77
Греція	4,02	4,17	4,20	4,13	4,24	5,60
Данія	4,14	3,91	3,30	3,18	2,83	2,44
Естонія	2,56	2,97	3,18	2,40	2,32	2,30
Іспанія	1,92	1,87	1,77	1,75	1,73	1,52
Італія	3,43	3,51	3,24	3,06	3,01	2,20
Ірландія	2,48	1,90	1,41	1,20	1,14	0,87
Ісландія	2,15	2,06	2,01	2,02	1,70	1,84
Кіпр	2,72	2,91	2,52	2,35	2,26	2,19
Латвія	3,17	3,58	2,94	3,04	2,75	2,23

Закінчення таблиці 8

Країни	2013	2016	2019	2020	2021	2022
Литва	1,68	1,92	1,88	1,94	1,84	1,52
Люксембург	2,05	1,66	1,74	1,38	1,46	1,23
Мальта	2,58	2,65	2,43	2,21	1,80	1,65
Нідерланди	3,26	3,35	3,39	3,18	3,05	2,37
Німеччина	2,06	1,86	1,76	1,69	1,80	1,63
Норвегія	2,32	2,40	2,09	2,00	1,74	1,29
Польща	2,45	2,72	2,54	2,53	2,88	2,80
Португалія	2,20	2,58	2,53	2,36	2,33	1,92
Румунія	2,07	2,44	2,11	1,90	2,19	2,70
Словаччина	2,51	2,48	2,50	2,46	2,38	2,47
Словенія	3,92	3,88	3,70	3,27	3,13	2,87
Угорщина	2,44	2,53	2,30	2,20	2,05	1,88
Фінляндія	2,91	3,08	2,81	2,73	2,51	2,43
Франція	2,03	2,24	2,31	2,17	2,18	2,08
Хорватія	3,56	4,31	4,24	4,07	3,86	3,34
Чехія	2,09	2,10	2,04	1,92	1,84	1,48
Швейцарія	1,32	1,38	1,40	1,39	1,34	1,27
Швеція	2,32	2,22	2,05	2,00	1,89	1,91

Примітка: складено автором на основі даних [3; 7; 14; 16].

більшості країн, за виключенням Болгарії, Греції, Польщі, Румунії та Франції, де показник збільшився неістотно — від 0,05 до 1,91%. Регресивний рівень фіскальних екологічних надходжень може свідчити про те, що в ЄС масштабно впроваджується процес екологізації виробництва, тобто підприємствами системно використовуються технології, які мінімізують ресурсні втрати та менше забруднюють навколишнє середовище [16; 17]. Високий рівень капіталізації підприємств також вказує на ефективність виробництва, зменшення собівартості продукції, зокрема завдяки зниженню рівня виплат у вигляді екологічних податків та зборів.

ВИСНОВКИ

Складний процес трансформації європейської економіки змушує країни створювати нові моделі господарювання, які ґрунтуються на принципах циркулярної економіки. Вагомі результати держав ЄС слугують доказом Україні на необхідності та невідворотності використання механізмів сталого розвитку на шляху до циркулярності економіки, яка покращує інвестиційний клімат, вирішує проблему дефіциту ресурсів та створює додану вартість. Саме циркулярна модель економіки знизить навантаження на навколишнє середовище, стабілізує екологічну ситуацію, а також значно підвищить рівень рентабельності виробництв. На шляху до євроінтеграції Україні необхідно враховувати досвід країн — членів Європейського Союзу у сфері циркулярної економіки, зокрема через дотримання базових принципів збалансованого природокористування. Прискорення процесів екологізації виробництва дасть можливість вітчизняним виробникам гармонійно інтегруватись в європейську економіку і пристосуватись до кон'юнктури ринку. Використання різноманітних маркерів природокористування робить більш точним прогноз щодо швидкості та ефективності переходу на рейки циркулярної економіки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Данилишин Б.М. Наукові нариси з економіки природокористування: моногр. Київ: РВПС України НАН України, 2008. 280 с.
2. Поліщук В.М. Європейська концепція еколого-збалансованого природокористування в ринковій економіці. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 3. С. 39–51. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2023.287816.
3. Database on instruments used for environmental policy. URL: http://www2.oecd.org/ecoinst/queries/Query_2.aspx? QryCtx=1#.
4. Circular Economy OVERVIEW URL: https://www.eib.org/attachments/thematic/circular_economy_overview_2021_en.pdf.
5. Korhonen J., Nuur C. and Feldmann A. Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production*. 2018. № 175. P. 117–125. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.111.
6. Eurostat. Environmental tax revenues. URL: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_ac_tax&lang=en.
7. International arrangement on forests beyond 2015. Resolution adopted by the Economic and Social Council on 22 July 2015. Economic and Social Council United Nations (E/RES/2015/33). URL: https://undocs.org/E/ RES/2015/33.
8. Ковалів О.І. Головна неврегульована в Україні передумова погіршення якісного стану природних об'єктів. *Збалансоване природокористування*. 2020. № 4. С. 5–16. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2020.226618.
9. Волошина О.А., Стеценко Ю.В. Проблеми та напрями ефективного управління побутовими відходами в сучасних умовах. *Економіка і суспільство*. 2018. Вип. 19. С. 310–315. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-19-47.
10. Про управління відходами: Закон України від 13 грудня 2022 р. № 2849-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text.
11. Поліщук В.М. Аналіз європейських статистичних індикаторів ефективності природокористування. *Агроекологічний журнал*. 2023. № 3. С. 30–43. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2023.287761.
12. Ellen MacArthur Foundation. Circular economy and the Covid-19 recovery. URL: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/The-circular-economy-a-transformative-Covid19-recovery-strategy.pdf.
13. Варфоломєєв М.О. Циркулярна економіка як невід'ємний шлях українського майбутнього в аспекті глобалізації. *Ефективна економіка*. 2020. № 5. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/5_2020/202.pdf. DOI: https://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.5.200.
14. Taxing Energy Use. URL: http://www.compareyourcountry.org/taxing-energy?cr=oecd&lg=en.
15. World commission on environment and development. Our common future. 1987. London: Oxford University Press.
16. Поліщук В.М. Аспекти розвитку екологічного оподаткування в контексті трансформації економіки. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 3. С. 35–46. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266408.
17. Circularity Gap. 2022. URL: https://www.circularity-gap.world/2022.

REFERENCES

1. Danylyshyn, B.M. (2008). *Naukovi narysy z ekonomiky pryrodokorystuvannia: monohrafiia [Scientific essays on the economics of nature management: monograph]*. Kyiv: National Academy of Sciences of Ukraine [in Ukrainian].
2. Polishchuk, V.M. (2023). Yevropeiska kontseptsiia ekoloho-zbalansovanoho pryrodokorystuvannia v rynkovii ekonomitsi [European concept of ecologically balanced nature management in a market economy]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia — Balanced nature management, 3*, 39–51. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2023.287816 [in Ukrainian].
3. Database on instruments used for environmental policy. URL: http://www2.oecd.org/ecoinst/queries/Query_2.aspx? QryCtx=1# [in English].
4. Circular Economy OVERVIEW (2021). URL: https://www.eib.org/attachments/thematic/circular_economy_overview_2021_en.pdf [in English].
5. Korhonen, J., Nuur, C. & Feldmann, A. (2018). Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production, 175*, 117–125. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.111 [in English].
6. Eurostat. Environmental tax revenues. URL: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_ac_tax&lang=en [in English].
7. Economic and Social Council United Nations. (2015). International arrangement on forests beyond 2015. Resolution adopted on July 22, 2015. (E/RES/2015/33). URL: https://undocs.org/E/RES/2015/33 [in English].
8. Kovaliv, O.I. (2020). Holovna nevrehulovana v Ukraini peredumova pohirshennia yakisnoho stanu pryrodnykh obiektiv [The main unregulated precondition in Ukraine for the deterioration of the quality state of natural objects]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia — Balanced nature using, 4*, 5–16. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2020.226618 [in Ukrainian].
9. Voloshyna, O.A. & Stecenko, Yu.V. (2018). Problemy ta napriamy efektyvnoho upravlinnia pobutovymy vidkhodamy v suchasnykh umovakh [Problems and directions of effective household waste management in modern conditions]. *Ekonomika i suspilstvo — Economy and society, 19*, 310–315. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-19-47 [in Ukrainian].
10. Pro upravlinnia vidkhodamy: Zakon Ukrainy vid 13 hrudnia 2022 r. № 2849-IX [On waste management: Law of Ukraine dated December 13, 2022, no. 2849-IX]. (2022). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text [in Ukrainian].

11. Polishchuk, V.M. (2023). Analiz yevropeiskykh statystychnykh indykatoriv efektyvnosti pryrodokorystuvannia [Analysis of European statistical indicators of the efficiency of nature management]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal, 3*, 30–43. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2023.287761 [in Ukrainian].
12. Ellen MacArthur Foundation. Circular economy and the Covid-19 recovery (2020). URL: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/The-circular-economy-a-transformative-Covid19-recovery-strategy.pdf [in English].
13. Varfolomieiev, M.O. (2020). Tsyrkuliarna ekonomika yak nevidiemnyi shliakh ukrainskoho maibutnoho v aspekti hlobalizatsii [The circular economy as an integral part of Ukraine's future in the aspect of globalization]. *Efektyvna ekonomika — Efficient economy, 5*. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/5_2020/202.pdf [in Ukrainian].
14. Taxing Energy Use. URL: http://www.compareyourcountry.org/taxing-energy?cr=oecd&lg=en [in English].
15. World commission on environment and development. Our common future (1987). London: Oxford University Press [in English].
16. Polishchuk, V.M. (2022). Aspekty rozvytku ekolohichnoho opodatkuvannia v konteksti transformatsii ekonomiky [Aspects of the development of environmental taxation in the context of economic transformation]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal, 3*, 35–46. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266408 [in Ukrainian].
17. Circularity Gap (2022). URL: https://www.circularity-gap.world/2022 [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 05.06.2024

УДК 502.7:581.95 DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311180

АТРИБУТИВНИЙ АНАЛІЗ ФРАКЦІЇ АНТРОПОФІТІВ У СКЛАДІ УРБАНОФЛОРИ КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ АГЛОМЕРАЦІЇ (СТУПІНЬ НАТУРАЛІЗАЦІЇ, ІНВАЗІЙНИЙ СТАТУС, ОЦІНКА ЗАГРОЗИ ДЛЯ МІСЦЕВИХ ЕКОСИСТЕМ І БІОТИЧНОГО РІЗНОМАНІТТЯ)

С.М. Конякін, Р.І. Бурда, В.В. Буджак

ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України» (м. Київ, Україна)
e-mail: ser681@ukr.net; ORCID: 0000-0002-6715-5707
e-mail: riburda@ukr.net; ORCID: 0000-0002-7440-9218
e-mail: budzhakv@gmail.com; ORCID: 0000-0002-7754-6437

Міжнародна екологічна наукова спільнота особливої уваги надає урбанізованим територіям, як окремим локаціям чужорідних інвазійних видів біоти. Наведено результати атрибутивного аналізу структури чужорідної фракції флори КМА за трьома чинними європейськими категоріями. В основі аналізу — підсумковий перелік чужорідних судинних рослин флори КМА, що містить 718 видів. Він поповнений 166 таксонами чужорідних судинних рослин, які іммігрували до КМА від 2003 до 2023 рр. З'ясовано, що за ступенем натуралізації видів-іммігрантів домінують випадкові чужорідні види, які становлять 59,0% таксономічного складу фракції. Види, що є елементами змінених людиною середовищ, досягають 35,5%. Водночас, чужорідні види, які зростають і утримуються тривалий час у природних екотопах, включаючи охоронні території, не перевищують 5,0%. За категоріями інвазійної активності трапляються види, що натуралізувалися і не проявляють схильності до інвазій — 32,0%. Найзагрозливіші серед інвазійних рослин види-трансформери, представлені 2,5%, власне інвазійні види — 4%, потенційно інвазійні види — 2,0%. Спираючись на «Класифікацію чужорідних видів за їхніми впливами на довкілля», адаптовану МСОП, визначена частка видів 5-ти класів: клас найбільших впливів становить 1,5% від загальної чисельності та 4,0% від чисельності натуралізованих; відповідно, клас великих впливів — 2,2% (5,4%); клас помірних впливів — 5,2%, (11,2%); клас малих впливів — 28,1%, (68,6%); клас неістотних впливів — 4,2%, (10,8%). За результатами скринінгу негативних впливів інвазійних видів на довкілля наведені приклади загроз. Це конкуренція за природні ресурси, витіснення аборигенних видів рослин; проникнення до лісів рослин, клімаморфотипи яких відсутні у місцевих лісових екосистемах (деревні ліани) тощо. Виявлені загрозливі випадки спонтанної гібридизації видів-іммігрантів із місцевими видами і між собою (багаторазові явища в родах Bidens L., Populus L., Reynoutria Houtt. тощо). Зазначена необхідність експериментального дослідження хімічних та фізичних негативних впливів інвазійних рослин на місцеві види біоти й здоров'я людини. Встановлено, що флора КМА на тлі флори Європи, рівномірно уражена фітоінвазіями як урбанізована просторова одиниця України.

Ключові слова: *інвазійна екологія, агріофіт, епекофіт, колонофіт, ефемерофіт, види-трансформери, урбанізовані території.*

ВСТУП

Винесені у заголовок атрибутивні риси, що властиві чужорідним видам у складі флор урбанізованих територій, відповідають вимогам Регламенту стосовно оцінок ризику щодо інвазійних чужорідних видів [1]. У додатку Регламент містить детальний опис декількох загальних атрибутів рослинних таксонів, виявлення яких важливе для інвазійної ботаніки і міжнародної практики стримування та контролю інвазій рослин. Низка чинних категорій (таксономічна ідентичність таксону, його природний і потенційний ареали, характер і динаміка репродукції, час імміграції й потенційні шляхи вторгнення та розповсюдження), щодо фракції чужорідних видів

© С.М. Конякін, Р.І. Бурда, В.В. Буджак, 2024

флори КМА, нами попередньо висвітлені [2; 3]. В цілях оцінки загрози для місцевих екосистем і біотичного різноманіття необхідна найточніша характеристика ступеня натуралізації та інвазійної активності видів. Ця інформація корисна також для визначення несприятливого впливу фітоінвазій на здоров'я людей, безпеку та економіку; як і для оцінки потенційної вартості збитків.

Мета роботи — навести скринінг атрибутивної різноманітності фракції антропофітів у складі урбанофлори КМА за найпроблемнішими категоріями: ступенем натуралізації, інвазійною активністю й з'ясувати загрози впливу видів-іммігрантів та їх угруповань на місцеві екосистеми, біотичне різноманіття і здоров'я населення.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У Регламенті Європейського Парламенту [1] детально викладено напрями виконання Конвенції ООН Про біологічне різноманіття (05.06.1992 р.). Світова спільнота досягла істотних успіхів щодо організації, вивчення і контролю біологічних інвазій, зокрема, фітоінвазій. Прийняття Глобальної Стратегії з проблем інвазійних неаборигенних видів сприяло розвитку окремого наукового напряму — інвазійної ботаніки [4]. На той час уже був укладений анотований перелік і опублікований короткий аналіз чужорідної фракції урбанофлори КМА [5]. З часом, стали доступними широкому загалу науковців відомості про натуралізацію чужорідних видів світової флори, їх різноманітність, таксономічні й філогенетичні аспекти, географічне походження та глобальні «гарячі точки рослинних інвазій», як і склад видів-іммігрантів [6]. Тривала інвентаризація про імміграцію та інвазійність рослин у низці європейських країн або їх столиць [7–10] тощо. Урбанізовані території мають істотний вплив на розповсюдження рослин. Мозаїка типів землекористування в містах переважно відображена в моделях екотопічного поширення чужорідних рослин. З розвитком інвазійної ботаніки принципово змінювались концепції та конкретні методики досліджень чужорідних таксонів, були розроблені атрибути диференціації наслідків присутності інвазійних видів рослин та їх вплив на місцеві екосистеми. Важливо проводити подальші дослідження біологічних інвазій та їх наслідків у певних єдиних рамках, принаймні, щодо флори Європи. Була створена Концепція, упорядкована термінологія щодо натуралізації рослин [11; 12]. Переломним для розвитку інвазійної біології, зокрема ботаніки, стало вироблення рамкової «Уніфікованої класифікації для біологічних інвазій» [13]. Пізніше оприлюднена «Уніфікована класифікація чужорідних видів на основі амплітуди їхніх впливів на довкілля», адаптована МСОП з наступним її випробуванням [14–16]. У нашій статті зроблено спробу оцінити за цією класифікацією впливи антропофітів на довкілля КМА на різних етапах розвитку рослинних інвазій від випадкового рослинного виду — до виду-трансформера з усіма перипетіями, «вибухами» і «невдачами», акцентованими розробниками концепції [13–16].

У флорі КМА як урбанізованої території, за період після 2002 р. виявлені істотні зміни таксономічної і атрибутивної структури [3; 17]. За нашими спостереженнями та шляхом використання нових даних, зібраних упродовж останнього двадцятиріччя, вона оновлена 166 чужорідними видами. Подано переоцінку поточного статусу таксонів на основі поглиблених таксономічних, екологічних, фітогеографічних знань у галузі інвазійної ботаніки. Переважно — це здичавілі декоративні, фітомеліоративні, харчові, лікарські та інші утилітарні, а ще бур'янові рослини. У складі новітнього елементу чужорідної фракції урбанофлори КМА ергазіофіти становлять 46,1%. Джерелом поповнення, загалом, є культивування рослин: озеленення, міське і аматорське квітникарство, ботанічні сади та інші колекційні центри тощо.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як і в попередній нашій статті [2], атрибутивні категорії урбанофлори оцінені від-

повідно до комплексної методичної схеми авторів «Екофлори України» [18]. За ступенем натуралізації розрізняли 4 категорії антропофітів: *агріофіти* — рослини, що натуралізувались у природних і напівприродних екосистемах і здатні витримувати в них конкуренцію з місцевими видами; *епекофіти* — стабільно поширені в антропогенних екосистемах таксони; *колонофіти* — види-іммігранти, здатні утворювати колонії або первинні самовідновні, але нестабільні популяції; *ефемерофіти* — рослини, поява яких пов'язана з новими занесеннями діаспор. Інвазійна активність антропофітів, як ступеня загрози за подоланням ними міграційних бар'єрів, визначена за чинною Європейською класифікацією з п'яти категорій: «види-трансформери», власне інвазійні види, види, що натуралізувалися, випадкові чужорідні види, невизначені види — рослини з невизначеним таксономічним або адвентивним статусом, а також таксони, для оцінки яких недостатньо даних [13; 14; 18]. До них додано категорію, запроваджену дещо пізніше Консорціумом ботанічних садів Європи — «потенційно інвазійні види» [19]. Водночас, у деяких випадках потенційно інвазійними визнаються таксони, які перебуваючи на етапі міграції між натуралізованими і власне інвазійними таксонами, схильні до подальшого розповсюдження незалежно від способу проникнення [20]. Нами потенційно інвазійними визнаються таксони в останньому трактуванні.

Отже, види-трансформери — це ті серед інвазійних таксонів видового рівня, котрі здатні повністю змінювати таксономічний склад місцевих рослинних угруповань і екосистем, включаючи представників тваринного світу, гриби тощо. Вплив видів-трансформерів викликає незворотні зміни екосистем. Власне інвазійні види частково змінюють таксономічний склад місцевих рослинних угруповань, екосистем, однак, їх вплив зворотний. За сприятливих умов, наприклад, зниження антропогенного тиску, екосистеми самовідновлюються. За іншого перебігу подій інвазійні види можуть набути статусу виду-трансформера. Слід зазначити, що рослинний вид, визнаний інвазійним, має повністю натуралізуватися, тобто набути статус агріофіт (заселяти природні екосистеми, як-от ліси, луки, степи тощо). Або ж такий вид має статус епекофіт (вселятися в порушені екосистеми, тобто сегетальні, рудеральні, урбанізовані тощо). Він може активно розселятися за посередництва природних і антропогенних чинників і утримувати заселений простір шляхом конкуренції з іншими видами біоти. Інвазійний вид за своєю потенцією здатен за сприятливих умов заселити всю територію України. Потенційно інвазійні види, зазвичай, перебувають на перших етапах формування місцевих популяцій. Вони частково змінюють таксономічний склад порушених рослинних угруповань (сегетальні, рудеральні, техногенні тощо). До видів, що натуралізувалися, належать ті, котрі крім географічного, кліматичного, екологічного і ценотичного іммміграційних бар'єрів, здолали бар'єр репродуктивний — регулярно розмножуються насінням, іншими діаспорами чи відновлюються вегетативно, проте тенденцій до інтенсивного поширення не проявляють. Нагадаємо міграційні бар'єри: географічний (формування вторинного ареалу шляхом умисного чи неумисного сприяння людини), кліматичний, (клімаморфотип), екологічний та ценотичний (участь у складі угруповань), репродуктивний (доброякісне насіння або вегетативне відновлення). Випадкові чужорідні види, це такі, що зрідка з'являються та зникають [13]. Чужорідні види, які не здолали необхідних для натуралізації у нових умовах середовища іммміграційних бар'єрів, у цій і наступній категоріях, зрозуміло, не оцінюються.

Оцінку загроз антропофітів для місцевих екосистем і біотичного різноманіття здійснено з застосуванням «Уніфікованої класифікації чужорідних видів, основаної на амплітуді їхніх впливів на довкілля», прийнятої МСОП [13–16]. Вона опирається на 5 класів впливів: найбільший, великий, помірний, малий та неістотний. Зазначені додатково: види, що не створили ще місцевих популяцій, види, щодо впливів

на довкілля яких існує певний брак інформації, невизначені види, включно з криптогенними, категорією видів із нез'ясованими (прихованими) впливами на довкілля. Паралельно виділені види зі схильністю до гібридизації та «рослини-паразити» з гетеротрофним способом живлення. Наукові назви видів наведені за POWO 2024 April 26 (The Plant of the World Online (URL: https://powo.science.kew.org/) [21]. Аналіз проведено за авторським таксономічним переліком чужорідних видів флори КМА включно з уже опублікованим попереднім переліком [3]. Аналізований перелік містить 718 таксонів видового рівня, з 357 родів, 97 родин, 6 класів та 3 відділів [2; 3], серед яких 166 таксонів є доповненням за 2003–2023 рр. до чинного тоді списку чужорідної флори КМА [5].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Важливо адекватно оцінювати ступінь натуралізації флори на початковому рівні дослідження урбанофлори для контролю фітоінвазій у системі названих атрибутивних категорій. У фракції чужорідних видів флори КМА серед 718 видів виявлено 409, що не натуралізувалися. Тобто, серед видів-іммігрантів флори КМА переважають колонофіти та ефемерофіти, котрі місцевих популяцій у новітніх умовах не створили, проте становлять 57,0% видового складу флори (*табл.*).

Скринінг фракції антропофітів у складі урбанофлори КМА: ступінь натуралізації, інвазійна активність, оцінка загрози для місцевих екосистем і біотичного різноманіття

Категорія	Чисельність видів	% від загального	Категорія	Чисельність видів	% від загального
Ступінь натуралізації видів			*Інвазійна активність видів*		
Агріофіти	37	5,2	Види-трансформери	18	2,5
Епекофіти	259	36,0	Власне інвазійні види	31	4,3
Колонофіти	78	10,4	Потенційно інвазійні види	14	2,0
Ефемерофіти	331	46,6	Види, що натуралізувалися	233	32,2
Таксони, для визначення ступеня натуралізації яких даних недостатньо	13	1,8	Випадкові чужорідні види; таксони, для визначення інвазійної активності яких даних недостатньо	422	59,0

Класифікація чужорідних видів за їхніми впливами на довкілля, адаптована МСОП

Категорія	Чисельність видів	% від загального	% від частки натуралізованих	Інше
Клас найбільших впливів	12	1,5	4	Таксони, схильні до гібридизації: *Bidens frondosa*, *Populus deltoides*, *Reynoutria sachalinensis*, *R. japonica* та *Salix fragilis*
Клас великих впливів	16	2,2	5,4	Таксони з гетеротрофним способом живлення: *Cuscuta campestris*, *C. gronovii*
Клас помірних впливів	36	5,2	11,2	
Клас малих впливів	202	28,8	68,6	
Клас неістотних впливів	31	4,2	10,8	

У подальшому тексті ці 409 видів за іншими атрибутами не розглядаються. У складі фракції представлені три таксони з нечітко визначеними науковими назвами (*Mesembryanthemum* × *vascosilvae* (Gideon F. Sm., E. Laguna, F. Verloove & P.P. Ferrer) Sàez & Aymerix, *Salvia hispanica* L., *S. yangii* B.T. Drew або *Perovskia atriplicifolia* Benth.) та види рослин, для точної оцінки яких в тій чи іншій категорії обсяг наявної інформації недостатній (див. *табл.*). Помітної переваги постійному елементу урбанофлори надають епекофіти (36,0%), що домінують в антропогенних екотопах.

Інвазійна активність видів урбанофлори КМА наразі характеризується пануванням таксонів, що натуралізувалися. Складаючи третину всіх чужорідних видів, вони здебільшого не проявляють жодної схильності до активного поширення.

Сумарно група інвазійних видів становить 8,8% від загального складу фракції. Крім того, у ній лише половинна частка належить власне інвазійним чужорідним видам (див. *табл.*). Решта за певного розвитку подій може досягти статусу видутрансформера. До прикладу, агріофіти *Amorpha fruticosa* L., *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv., *Elaeagnus angustifolia* L., *Impatiens glandulifera* Royle тощо. А ще, у флорі КМА наочно виражених 18 видів-трансформерів (див. *табл.*). Це наступні добре відомі для флори КМА види-іммігранти: *Acer negundo* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Single, *Ambrosia artemisiifolia* L., *Bidens frondosa* L., *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et Gray., *Erigeron annuus* (L.) Desf, *E. canadensis* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall., *Heracleum mantegazzianum* Sommier & Levier, *H. sosnowskyi* Manden., *Impatiens parviflora* DC., *Parthenocissus inserta* (A. Kern.) Fritsch, *P. quinquefolia* (L.) Plach., *Reynoutria* × *bohemica* Chrtek & Chrtková, *Robinia pseudoacacia* L., *Salix fragilis* L., *Solidago canadensis* L. та *Xanthium orientale* L.

До Переліку інвазійних чужорідних видів рослин, адаптованого ЄС [22], що наразі містить 41 вид, належать 10 видів урбанофлори КМА. Як виявилось, у наших умовах вони досягли різного ступеня інвазійної активності. Статусу виду-трансформера в сучасній флорі набули *Ailanthus altissima*, *Heracleum mantegazzianum* та *H. sosnowskyi*; власне інвазійними є *Asclepias syriaca* L. та *Impatiens glandulifera*; потенційно інвазійні *Celastrus orbiculatus* Thunb. і *Pistia stratiotes* L.; натуралізувався *Elodea nuttalii* (Planch.) H.St.-John. Водночас, *Pontederia crassipes* Mart. (у FPS *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) випадковий таксон без місцевих популяцій, а *Humulus scandens* (Lour.) Merr., таксон, для оцінки статусу якого нині недостатньо даних.

До додатково використаної категорії «потенційно інвазійний вид» віднесені 14 рослинних таксонів: *Arrhenatherum elatius* (L.) P. Beauv. ex J. Presl & C. Presl, *Bassia scoparia* (L.) A.J. Scott, *Digitaria ischaemum* (Schreb.) Muhl., *D. sanguinalis* (L.) Scop., *Erechtites hieraciifolius* (L.) Raf. ex DC., *Helianthus annuus* L., *Lactuca serriola* L., *Pistia stratiotes* L., *Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai, *Ribes aureum* Pursh, *Rhus typhina* L., *Robinia viscosa* Michx. ex Vent., *Rudbeckia laciniata* L., *Thladiantha dubia* Bunge, *Typha laxmannii* Lepech. Звісно, вони потребують належної уваги щодо контролю за ходом їх подальшої інвазії. За публікаціями в європейських країнах структура флор за участю інвазійних і натуралізованих видів судинних рослин різниться. Для прикладу, Чеська Республіка — інвазійних 4,8%, натуралізованих — 26,4% [7], Словаччина, відповідно, 3,3%; 39,1% [26], м. Таллінн — 5%; 62% [9]. У флорі Європи загалом натуралізованих чужорідних видів 64,1% [6]. Порівняно з флорою Європи, окремих держав і м. Таллінн флора Києва та його передмість наразі є рівномірно враженою чужорідними інвазійними видами судинних рослин урбанізованою територією України.

Завдяки «Класифікації чужорідних видів, заснованій на амплітуді їхніх впливів на довкілля», адаптованої МСОП [13; 14], нам вдалося диференціювати усі натуралізовані чужорідні таксони флори КМА за 5 класами (див. *табл.*). Як відомо, в Уніфікованій всесвітньовизнаній класифікації дослідник оперує 12 механізмами впливу

на довкілля. Стосовно урбанофлори КМА використано такі дев'ять із них: конкуренція, гібридизація, ураження хворобами, паразитизм, хімічний вплив, токсикація, біозабруднення, структурний вплив на екосистеми, взаємодія з іншими чужорідними видами.

Конкуренція за природні ресурси притаманна усім видам-іммігрантам. Часом вона чітко виражена і призводить до зміни структури, принаймні, рослинного угруповання. Прикладом є *Impatiens parviflora*, який повністю витіснив консорцію весняних ефемероїдів дубово-грабових лісів КМА, змінивши їх новим угрупованням трав'яного покриву з власним домінуванням. Інший приклад: п'ять видів деревних ліан (*Celastrus flagellaris* Rupr., *C. orbiculatus* Thunb., *Hedera helix* L., *Parthenocissus inserta*, *P. quinquefolia*), життєва форма яких, окрім цих іммігрантів, у флорі КМА не представлена. Зокрема, види і гібриди роду *Parthenocissus* L.: *P. inserta*, *P. quinquefolia* розрослися на освітлених місцях у лісах КМА двома формами росту. Вертикальна форма, чіпляючись вусиками та присосками до дерев, затіняє їх, що зумовлює до усихання. А наземна сланка форма перетворює разом із чужорідним кущем *Ptelea trifoliata* L. густий нижній ярус лісу, витісняючи лісові трави. Формується відсутній досі в наших лісах новітній нижній ярус. Декілька чужорідних таксонів урбанофлори КМА помічені як такі, що проявляють схильність до гібридизації з місцевими таксонами або з-поміж видами-іммігрантами. Наприклад, відомі наслідки гібридизації з місцевими видами *Bidens frondosa* L. (*B.* × *garumnae* Jeanj. et Debray., *B.* × *connata* Muchl. ex Willd), *Populus deltoides* W. Bartram ex Marshall (*P.* × *canadensis* Moench), а ще *Salix fragilis* L., поглинаючи *Salix alba* L., забруднює і збіднює місцевий генофонд. Приклад гібридизації проміж видами-іммігрантами: *Reynoutria* × *bohemica*, дещо агресивніший гібрид, ніж елементи батьківської пари вже згадуваних *R. japonica* Houtt. × *R. sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai. Фахівці наголошують на світових загрозах гібридизації деревних інвазійних видів [23; 24], яка продукує потужні деревні гібриди. Нами виявлені шість видів роду *Juglans* L., місцеві популяції яких перебувають на етапі стабілізації в межах КМА. На той час, за літературними даними, у зелених насадженнях КМА зростали 27 гібридних комбінацій спонтанних або отриманих примусовим запиленням, які визнані і мають наукові назви. Найактивніша участь в інтрогресивній гібридизації у флорі КМА належить *J. regia* L., який має 23 гібриди восьми з 10 імовірних гібридних комбінацій [25]. Паразитизм притаманний, принаймні, двом гетеротрофним видам роду *Cuscuta* L.: *C. campestris* Yunck. та *C. gronovii* Willd. ex Schult. Вони поширені не часто, і як карантинні рослини швидко видаляються комунальними службами. Хімічний вплив відчувають люди від видів-трансформерів *Heracleum mantegazzianum* і *H. sosnowskyi*. Ефірні олії цих велетенських трав-іммігрантів викликають неприємні опіки шкіри, водночас, у період буйного квітування потужний ріст і білі суцвіття рослини приваблюють людей. Ураження хворобами чужорідних видів не відмічали, як і не вивчали безпосередньо фізичних і хімічних впливів інвазійних рослин. Зрозуміла необхідність санітарного-гігієнічного та експериментального дослідження хімічних і фізичних негативних впливів чужорідних судинних інвазійних рослин на місцеві види біоти та здоров'я людини ще попереду.

ВИСНОВКИ

Скринінг атрибутивної різноманітності флори КМА здійснено на основі вперше за 2003–2023 рр. складеного таксономічного переліку чужорідних судинних рослин, що включає 718 видів з 357 родів та 97 родин. Скринінг виявив, що атрибутивні пропорції флори за трьома категоріями лежать у рамках флор інших європейських країн. Здебільшого, трапляються види, що натуралізувалися і не проявляють схильності до інвазій — 32,0%, види-трансформери — 2,5, власне інвазійні — 4,3, потенційно інвазійні — 2,0%. Впливи видів-іммігрантів за «Класифікацією чужорідних видів за їхні-

ми впливами на довкілля», адаптованою МСОП, становлять за класами впливу: найбільший — 1,5% від загальної чисельності та 4,0% від чисельності натуралізованих; відповідно, великих — 2,2% (5,4%); помірних — 5,2% (11,2%); малих — 28,1% (68,6%) та неістотних — 4,2% (10,8%). Під час скринінгу серед пропонованих 12 механізмів впливів застосували 9. Конкуренція проявляється змаганням за ресурси довкілля, а також впливами на склад і структуру місцевих екосистем, шляхом витіснення природних видів рослин; спонтанна гібридизація видів-іммігрантів з місцевими видами і між собою (численні випадки в родах *Bidens* L., *Juglans* L., *Reynoutria* Houtt., *Symphyotrichum* Nees тощо); паразитизм виражений присутністю гетеротрофних видів *Cuscuta campestris* та *C. gronovii*; хімічний вплив на людину і тварин чинять велетенські трави *Heracleum mantegazzianum* і *H. sosnowskyi*. З викладеного випливає, порівняно з флорою Європи, флора КМА, рівномірно вражена чужорідними інвазійними видами.

Головний напрям вивчення урбанізованої флори КМА — таксономічна інвентаризація та атрибутивна характеристика триває. Як на наш погляд, збір і ведення інтегрованої бази даних флори чужорідної фракції флори КМА може стати вагомим внеском у виконання Національної стратегії стримування і управління інвазіями судинних рослин в Україні. Паралельно необхідно налагоджувати утилітарне дослідження чужорідних видів. Ергазіофіти становлять майже половину таксонів чужорідної фракції флори КМА. Знання про хімічний склад, продуктивність, декоративність, стійкість до погодних умов, інших утилітарних рис мають супроводжуватись сучасними агротехніками, які забезпечать додатковий імміграційний бар'єр для спонтанного розповсюдження цих корисних рослин. Найважливішим імміграційним бар'єром для чужорідних видів стане відновлення природних екосистем, контроль і догляд лісів, степів, луків, інших компонентів природного довкілля, як і створених людиною полів, садів, парків, селітебних, урбанізованих територій загалом, індустріальних земель, шляхів інших комунікаційних засобів.

ЛІТЕРАТУРА

1. European Parliament. Commission Delegated Regulation (EU) 2018/968 of 30 April 2018 Supplementing Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council with Regard to Risk Assessments in Relation to Invasive Alien Species. 2018. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.174.01.0005.01.ENG.
2. Конякін С.М., Бурда Р.І., Буджак В.В. Атрибутивний аналіз фракції антропофітів у складі урбанофлори Київської міської агломерації (клімаморфотип, час, спосіб імміграції, географічне походження). *Агроекологічний журнал*. 2024. № 2. С. 45–51. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2024.305652.
3. Koniakin S.M., Burda R.I. and Budzhak V.V. The dynamics of the taxonomic composition of the alien fraction of the urban flora in the Kyiv urban area, Ukraine. *Environmental & Socio-economic Studies*. 2024. Vol. 12. № 2. P. 62–82. DOI: https://doi.org/10.2478/environ-2024-0013.
4. McNeely J.A., Mooney H.A., Neville L.E., Schei P., Waage J.K. (Eds.). A Global Strategy on Invasive Alien Species. IUCN Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 2001. 50 p.
5. Mosyakin S.L. and Yavorska O.G. The nonnative flora of the Kiev (Kyiv) Urban Area, Ukraine: A checklist and brief analysis. *Urban Habitats*. 2002. Vol. 1. № 1. P. 45–65.
6. Pyšek P., Pergl J., Essl F. et al. Naturalized alien flora of the word: species diversity, taxonomic and phylogenetic patterns, geographic distribution and global hotspots of plant invasion. *Preslia*. 2017. Vol. 89. P. 203–274. DOI: https://doi.org/10.23855/preslia.2017.203.
7. Pyšek P., Sàdlo J., Chrtek J. et al. Cataloque of Alien plants of the Czech Republic (3rd edition). *Preslia*. 2022. Vol. 94. № 4. P. 447–577. DOI: https://doi.org/10.23855/preslia.2023.447.
8. Csiky J., Balogh L., Dancza I. et al. Checklist of alien vascular plants of Hungary and their invasion biological characteristics. *Acta Botanica Hungarica*. 2023. Vol. 65. P. 53–72. DOI: https://doi.org/10.1556/034.65.2023.1-2.3.
9. Elvisto T., Pensa M. and Paluoja E. Indigenous and alien vascular plant species in a northern European urban setting (Tallinn, Estonia). *Proceeding of the Estonian Academy of Sciences*. 2016. Vol. 65. № 4. P. 431–441. DOI: https://doi.org/10.3176/proc.2016.4.09.
10. Tyler T., Karlsson Th., Milberg P. and Sundberg S. Invasive plant species in the Swedish flora: developing criteria and definitions, and assessing the invasiveness of individual taxa. *Nordic journal of Botany*. 2015.

Vol. 33. P. 300–317. DOI: https://doi.org/10.1111/njb.00773.
11. Richardson D.M., Pyšek P., Rejmanek M. et al. Naturalization and invasion of Alien Plants: Conception and Definitions. *Diversity and Distribution*. 2000. № 6. P. 93–107. DOI: https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x.
12. Gaertner M., Wilson J.U., Cadotte M. et al. Non-native species in urban environments: patterns, processes, impacts and challenges. *Biological invasions*. 2017. Vol. 19. № 12. P. 3461–3469. DOI: https://doi.org/10.1007/s10530-017-1598-7.
13. Blackburn T.M., Pyšek P., Bacher S.A. et al. A proposed Unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology and Evolution*. 2011. Vol. 26. P. 333–339. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.03.023.
14. Blackburn T.M., Essl F., Evans T. et al. A Unified Classification of Alien Species based on the Magnitude of their Environmental Impacts. *PLOS Biology*. 2014. Vol. 12. № 5. P. 1001850. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001850.
15. Hawkins C.L., Bacher S., Essl F. et al. Framework and guidelines for implementing the proposed IUCN Environmental Impact Classification for Alien Taxa (EICAT). *Diversity and Distributions*. 2015. Vol. 21. P. 1360–1363. DOI: https://doi.org/10.1111/ddi.12379.
16. Volery L., Blackburn T.M., Bertolino S. et al. Improving the Environmental Impact Classification for Alien Taxa (EICAT): a summary of revisions to the framework and guidelines. *NeoBiota*. Vol. 62. P. 547–567. DOI: https://doi.org/10.3897/neobiota.62.52723.
17. Конякін С.М., Бурда Р.І., Буджак В.В. Чужорідні види в урбанофлорі Київської міської агломерації, 2003–2022: попередні нотатки. *Чорноморський журнал*. 2023. Т. 19. № 2. С. 200–225. DOI: https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2023-19-2-4.
18. Дідух Я.П., Плюта П.Г., Протопопова В.В., Єрмоленко В.М., Коротченко І.А., Каркуцієв Г.М., Бурда Р.І. Екофлора України. Загальна частина. *Lycopodiophyta — Pinophyta*. Т. 1. Київ: Фітосоціоцентр, 2000. 283 с.
19. European Botanic Gardens Consortium project «Sharing information and policy on potentially invasive plants in Botanic Gardens». URL: https://www.bgci.org/our-work/projects-and-case-studies/potentially-invasive-alien-plants-in-botanic-gardens/.
20. Tamás W., Kovács D. and Csiky J. Adatok és kiegészítések a magyarországi adventív flóra kivadult, meghonosodott és potenciális inváziós fajainak ismeretéhez. *Kitaibelia*. 2024. Vol. 25. № 2. P. 111–156. DOI: https://doi.org/10.17542/kit.25.11.
21. The Plant of the World Online. URL: https://powo.science.kew.org/.
22. The Union list of banned invasive alien species. — The Federal Public Service (FPS) Health, Food Chain Safety and Environment, Brussels, 24/10/2022, FPS (2022). URL: https://www.health.belgium.be/en/animals-and-plants/biodiversity/invasive-alien-species-threat-biodiversity.
23. Бурда Р.І., Пашкевич Н.А., Бойко Г.В., Фіцайло Т.В. Чужорідні види охоронних флор Лісостепу України. Київ: Наук. думка, 2015. 117 с.
24. Gaskin J.F. The role of hybridization in facilitating tree invasion. *AoB PLANTS*. 2017. Vol. 9. № 1. DOI: https://doi.org/10.1093/aobpla/plw079.
25. Конякін С.М., Бурда Р.І. Імовірний ризик виникнення і неконтрольованого розселення спонтанних гібридних форм *Juglans* в Україні. *Синантропізація рослинного покриву України:* зб. ст. III Всеукр. наук. конф. (м. Київ, 26–27 верес. 2019 р.). Київ: Наш формат, 2019. С. 85–90.
26. Medvecká J., Kliment J., Májeková J. et al. Inventory of the alien flora of Slovakia. *Preslia*. 2012. Vol. 84. P. 257–309.

REFERENCES

1. European Parliament. Commission Delegated Regulation (EU) 2018/968 of 30 April 2018 Supplementing Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council with Regard to Risk Assessments in Relation to Invasive Alien Species. (2018). URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.174.01.0005.01.ENG [in English].
2. Koniakin, S.M., Burda, R.I. & Budzhak, V.V. (2024). Atrybutyvnyi analiz fraktsii antropofitiv u skladi urbanoflory Kyivskoi miskoi ahlomeratsii (klimamorfotyp, chas, sposib immihratsii, heohrafichne pokhodzhennia) [Attributive analysis of the anthropophytes fraction as part of the urban flora of the Kyiv urban area (climamorphotype, residence time category, pathway of introduction into Ukraine and geographical origin)]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal, 2*, 45–51. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2024.305652 [in Ukrainian].
3. Koniakin, S.M., Burda, R.I. & Budzhak, V.V. (2024). The dynamics of the taxonomic composition of the alien fraction of the urban flora in the Kyiv urban area, Ukraine. *Environmental & Socio-economic Studies, 12, 2*, 62–82. DOI: https://doi.org/10.2478/environ-2024-0013 [in English].
4. McNeely, J.A., Mooney, H.A., Neville, L.E., Schei, P. & Waage, J.K. (Eds.). (2001). A Global Strategy on Invasive Alien Species. IUCN Gland, Switzerland and Cambridge, UK [in English].
5. Mosyakin, S.L. & Yavorska, O.G. (2002). The non-native flora of the Kiev (Kyiv) Urban Area, Ukraine: A checklist and brief analysis. *Urban Habitats, 1, 1*, 45–65 [in English].
6. Pyšek, P., Pergl, J., Essl, F. et al. (2017). Naturalized alien flora of the word: species diversity, taxonomic and phylogenetic patterns, geographic distribution and global hotspots of plant invasion. *Preslia, 89*, 203–274. DOI: https://doi.org/10.23855/preslia.2017.203 [in English].
7. Pyšek, P., Sàdlo, J., Chrtek, J. et al. (2022). Catalogue of Alien plants of the Czech Republic (3rd edi-

tion). *Preslia, 94*, 4, 447–577. DOI: https://doi.org/10.23855/preslia.2023.447 [in English].
8. Csiky, J., Balogh, L., Dancza, I. et al. (2023). Checklist of alien vascular plants of Hungary and their invasion biological characteristics. *Acta Botanica Hungarica, 65*, 53–72. DOI: https://doi.org/10.1556/034.65.2023.1-2.3 [in English].
9. Elvisto, T., Pensa, M. & Paluoja, E. (2016). Indigenous and alien vascular plant species in a northern European urbun setting (Tallinn, Estonia). *Proceeding of the Estonian Academy of Sciences, 65, 4*, 431–441. DOI: https://doi.org/10.3176/proc.2016.4.09 [in English].
10. Tyler, T., Rarlsson, Th., Milberg, P. & Sundberg, S. (2015). Invasive plant species in the Swedish flora: developing criteria and definitions, and assessing the invasiveness of individual taxa. *Nordic journal of Botany, 33*, 300–317. DOI: https://doi.org/10.1111/njb.00773 [in English].
11. Richardson, D.M., Pyšek, P., Rejmanek, M. et al. (2000). Naturalisation and invasion of Alien Plants: Conception and Definitions. *Diversity and Distribution, 6*, 93–107. DOI: https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x [in English].
12. Gaertner, M., Wilson, J.U., Cadotte, M. et al. (2017). Non-native species in urban environments: patterns, processes, impacts and challenges. *Biological invasions, 19 (12)*, 3461–3469. DOI: https://doi.org/10.1007/s10530-017-1598-7 [in English].
13. Blackburn, T.M., Pyšek, P., Bacher, S.A. et al. (2011). A proposed Unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology and Evolution, 26*, 333–339. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.03.023 [in English].
14. Blackburn, T.M., Essl, F., Evans, T. et al. (2014). A Unified Classification of Alien Species based on the Magnitude of their Environmental Impacts. *PLOS Biology, 12, 5*, 1001850. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001850 [in English].
15. Hawkins, C.L., Bacher, S., Essl, F. et al. (2015). Framework and guidelines for implementing the proposed IUCN. Environmental Impact Classification for Alien Taxa (EICAT). *Diversity and Distributions, 21*, 1360–1363 [in English].
16. Volery, L., Blackburn, T.M., Bertolino, S. et al. (2020). Improving the Environmental Impact Classification for Alien Taxa (EICAT): a summary of revisions to the framework and guidelines. *NeoBiota, 62*, 547–567 [in English].
17. Koniakin, S.M., Burda, R.I. & Budzhak, V.V. (2023). Chuzhoridni vydy v urbanoflori Kyivskoi miskoi ahlomeratsii, 2003–2022: poperedni notatky [The Alien Flora of the Kyiv Urban Area, 2003–2022: Prelude notes]. *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal — Chornomorski Botanical Journal, 19, 2*, 200–225 [in Ukrainian].
18. Didukh, Y., Plyuta, P., Protopopova, V., Ermolenko, V., Korotchenko, I., Karkutsiev, G. & Burda, R. (2000). *Ekoflora Ukrainy. Zahalna chastyna. Lycopodiophyta – Pinophyta [Ecoflora of Ukraine. The general part. Lycopodiophyta – Pinophyta]*. Kyiv [in Ukrainian].
19. European Botanic Gardens Consortium project «Sharing information and policy on potentially invasive plants in Botanic Gardens». (n.d.). URL: https://www.bgci.org/our-work/projects-and-case-studies/potentially-invasive-alien-plants-in-botanic-gardens/ [in English].
20. Tamás, W., Kovács, D. & Csiky, J. (2024). Adatok és kiegészítések a magyarországi adventív flóra kivadult, meghonosodott és potenciális inváziós fajainak ismeretéhez. *Kitaibelia, 25, 2*, 111–156. DOI: https://doi.org/10.17542/kit.25.111 [in Hungarian].
21. The Plant of the World Online. (n.d.). URL: https://powo.science.kew.org/ [in English].
22. FPS (2022). The Union list of banned invasive alien species. The Federal Public Service (FPS) Health, Food Chain Safety and Environment, Brussels, 24/10/2022. URL: https://www.health.belgium.be/en/animals-and-plants/biodiversity/invasive-alien-species-threat-biodiversity [in English].
23. Burda, R.I., Pashkevich, N.A., Boyko, G.V. & Fitsailo, T.V. (2015). *Chuzhoridni vydy okhoronnykh flor Lisostepu Ukrainy [Alien species of protected flora of the Forest-Steppe of Ukraine]*. Kyiv [in Ukrainian].
24. Gaskin, J.F. (2017). The role of hybridization in facilitating tree invasion. *AoB PLANTS, 9, 1*. DOI: https://doi.org/10.1093/aobpla/plw079 [in English].
25. Koniakin, S.M. & Burda, R.I. (2019). Imovirnyi ryzyk vynyknennia i nekontrolovanoho rozselennia spontannykh hibrydnykh form *Juglans* v Ukraini [Probable risk of occurrence and uncontrolled spread of spontaneous hybrid forms of *Juglans* in Ukraine]. *Synantropizatsiya roslynnoho pokryvu Ukrayiny. zbirnyk statei III Vseukrayins'koi naukovoi konferentsii [Synanthropization of vegetation cover of Ukraine: a collection of articles of the 3rd Ukrainian Scientific Conference]*. (pp. 85–90). Kyiv: Nash format [in Ukrainian].
26. Medvecká, J., Kliment, J., Májeková, J. et al. (2012). Inventory of the alien flora of Slovakia. *Preslia, 84*, 257–309 [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 12.06.2024

УДК 581.9 (477.74)
DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311181

ВИДИ РОСЛИН, КУЛЬТИВОВАНІ В БОТАНІЧНОМУ САДУ ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ І.І. МЕЧНИКОВА (ЗА МАТЕРІАЛАМИ MSUD)

О.Ю. Бондаренко, Ю.С. Назарчук, Є.Д. Файрушин

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова (м. Одеса, Україна)
e-mail: o.bondarenko@onu.edu.ua; ORCID: 0000-0002-2383-6615
e-mail: bio_july@hotmail.com; ORCID: 0000-0002-7046-958X
e-mail: fairushinev94@gmail.com; ORCID: 0009-0007-1744-6569

Підґрунтям для первинних моніторингових досліджень регіональних флор є аналіз літературних джерел та гербарних матеріалів. Площами, на яких здійснювалася первісна концентрація нових, інтродукованих рослин часто є ботанічні сади. Цінність ботанічних садів і у тому, що тут, як правило, проводиться всебічна наукова робота з новими видами. Метою дослідження є виявлення та аналіз екземплярів видів рослин, які зберігаються в історичних (іменних) гербарних колекціях MSUD та зібрані у період становлення та розвитку ботанічного саду при Одеському національному університеті імені І.І. Мечникова (сучасна назва). Досліджували чотири гербарні колекції: Вищих Жіночих Педагогічних курсів, Новоросійського університету, зібрання П.С. Шестерикова, Е.Е. Ліндемана. Наведено конспект знайдених видів та форм рослин. Колекторами є: Нордман Олександр Давидович (один гербарний зразок), Зеленецький Микола Миколайович (39), Басарська Лідія Дометіанівна (п'ять), Шестериков Петро Степанович (два), Рішаві Людвіг Адальбертович (12), Вальц Яків Якович (один). Загалом, виявлено 60 гербарних аркушів видів та форм рослин різних колекторів, переважно періоду середини XIX та початку XX ст. Вони представляють 45 видів і форм із 16 родин; ще один екземпляр, визначений лише до роду. Найбільше видів належать до родини Cupressaceae — вісім видів та один рід. А також — родини Pinaceae: 17 видів та форм. У переважній більшості виявлені види — це дерева або чагарники. Нині у м. Одеса можна знайти 22 види із відмічених. До того ж 12 з них (54,55%) трапляються «поодиноко» у вузькому спектрі екотопів міста, що є елементами насаджень загального, обмеженого, спеціального призначення. 15 з них досі є компонентами території Ботанічного саду ОНУ — 68,18%; сім видів (31,82%) зустрічаються «всюди». Серед віднайдених зразків є представники важливих груп видів рослин. Так, Ginkgo biloba L. — рідкісна рослина із переліку созофітів для Одеської обл. Також вид Amorpha fruticosa L. є видом-трансформером» із високою інвазійною спроможністю.

Ключові слова: *інтродуковані види рослин, гербарні колекції, Одеса.*

ВСТУП

В умовах кліматичних змін, урізноманітнення напрямів антропогенного навантаження на природні ценози (зокрема і в результаті формування особливих типів ценозів — урболандшафтів), моніторингові флористичні дослідження не втрачають, а навпаки — набувають особливої актуальності. Основою для них є первинне виявлення та розуміння базових рис природної флори, а також — засад формування флор населених пунктів різних масштабів та функціонального призначення. Найцікавішими є флори великих міст, оскільки тут сконцентровані різні форми людської діяльності, територія характеризується розвиненою транспортною мережею. Як правило, міста оточені сільськогосподарськими землями, що також є цікавими у флористичному відношенні, та часто постають осередками синантропної компоненти урбоценозів.

Роботи з озеленення міст півдня України почалися одночасно із їх започаткуван-

© О.Ю. Бондаренко, Ю.С. Назарчук, Є.Д. Файрушин, 2024

ням, благоустроєм. Флористична компонента озеленення є істотною складовою структури міст [1–3].

Основою для первинних моніторингових досліджень у флористиці є аналіз літературних джерел та гербарних матеріалів. Ділянками, на яких здійснювалася первинна концентрація нових, інтродукованих рослин часто були і залишаються ботанічні сади. Їх цінність також і у тому, що тут, як правило, проводиться цілеспрямована всебічна наукова робота з новим флористичним матеріалом. Як наслідок, навіть із плином часу, саме інформація про види рослин ботанічних садів є найповнішою, науково вивіреною та базисною для вивчення, принаймні, культигенної фракції регіональних флор.

Метою дослідження є виявлення та аналіз екземплярів видів рослин, які зберігаються в історичних (іменних) гербарних колекціях MSUD (Одеський національний університет імені І.І. Мечникова), та які стосуються періоду становлення й розвитку ботанічного саду м. Одеси (до початку XX ст.).

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Сучасні аспекти формування озеленення м. Одеси — збільшення видового складу та формування різноманіття за рахунок інтродуцентів. Цей процес проходить паралельно із процесом випадання аборигенних та нестійких у міських умовах інтродукованих видів рослин [1; 4].

Ці тенденції мають низку аспектів, наслідки яких, за сучасних глобальних кліматичних змін, а також — за нестачею новітніх практичних знань у конкретних умовах півдня України, прогнозувати, на жаль, важко. Серед таких, вважаємо важливими формування низки садових центрів і розсадників, які займаються підбором, ввезенням у регіон та вирощуванням декоративних видів, оскільки частина з них є аматорськими, — в їх роботі не приділяється увага належному оформленню видових, сортових, гібридних форм. Отже, можлива гібридизація нових видів і форм із корінними видами рослин, поява синантропних видів, частина з яких може виявитися інвазійною, принаймні, за регіональних умов, що підтверджується даними В.В. Протопопової із колегами [5]. Такі приклади для півдня України, зокрема Одещини, за відомостями О.Ю. Бондаренко та Ю.С. Назарчук, уже фіксовано [6; 7]. Є певний спектр видів, які, будучи привнесені на терени України як господарсько-важливі — з часом натуралізуються та стають небезпечними навіть для природних ценозів [5].

Як правило, формування системи озеленення особливо великих міст — має певні етапи, що наочно показано на прикладі м. Одеса. За даними В.В. Немерцалова, сучасна дендрофлора цього міста охарактеризована 689 видами з 204 родів та 78 родин. На перших етапах вирощували певні рослини, які мали безпосереднє господарське значення. Їх підбір здійснювали безсистемно, спонтанно. Згодом — із структуруванням міської забудови починається організований процес інтродукції видів рослин [1].

Часто види рослин для міського озеленення вирощують та акліматизують на спец. ділянках ботанічних садів. Окрім наукової роботи, вони ж проводять широку просвітницьку діяльність [8; 9]. В Одесі існує лише один ботанічний сад — при Одеському національному університеті імені І.І. Мечникова. Нині Ботанічний сад ОНУ займає дві території. Основна територія ботанічного саду з 1880 р. розміщується на так званій «університетській дачі» — на Малому Фонтані, Французький бульвар, 87 (директором бот. саду у той час був Л.В. Рейнгрард). Це, нині, так звана «стара» територія ботанічного саду. «Нова» розміщується неподалік за адресою: Французький бульвар, 48/50 [10].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Досліджували історичні колекції гербарію Одеського національного університету імені І.І. Мечникова (MSUD):

❒ *гербарна колекція Вищих Жіночих Педагогічних курсів* (надалі — ГВЖПК) —

нараховує понад 7540 гербарних аркушів. Однак колекція наразі знаходиться у стадії «перенумерації», оскільки кількість екземплярів видів рослин із різних локацій — перевищує заявлену кількість гербарних аркушів. Представлені збори слухачок курсів, а також — видатних вчених того часу (зокрема М. Зеленецького). Орієнтовні строки зборів видів рослин — кінець XIX – початок XX ст.;

❒ *гербарна колекція Новоросійського університету* (надалі H.U.N.R.), в основі якої перебуває гербарій Рішельєвського ліцею (на базі якого сформовано університет). Ця колекція містить чи не найстаріші збори MSUD. Декілька гербарних аркушів датовано XVIII ст. Недоліком колекції є те, що значна частина матеріалів друкована старонімецькою мовою або почерк рукописних етикеток украй нерозбірливий. Багато екземплярів оформлено не за загальноприйнятими правилами, тому їх наукова цінність — обмежена. За попередніми даними, колекція нараховує понад 17000 гербарних аркушів, проте містить більше 20000 екземплярів видів та форм (матеріали декількох авторів та локацій розміщуються на одному гербарному аркуші тощо). Колекція потребує значного доопрацювання. Збірка представлена надвеликою кількістю локацій та авторів, різними роками зборів (різниця деяких становить понад 100–150 років);

❒ *іменна колекція П.С. Шестерикова* (надалі — Кол. П. Шестерикова) складається із 50 папок, 2021 гербарного аркуша, включає 1494 видів з 96 родин [11]. На основі цих зборів видано «Определитель....» [12]. Недоліком колекції є відсутність на етикетках точних локацій та дат зборів (за невеликим виключенням). Проблемою є також і неформатний, великий розмір гербарних аркушів, що утруднює роботу з колекцією. Орієнтовні строки зборів видів рослин — кінець XIX – початок XX ст.;

❒ *іменна колекція Е.Е. Ліндемана* (надалі — Кол. Е. Ліндемана) представлена 7931 гербарним аркушем, на яких розміщується екземпляри 5116 видів із 212 родин. Колекція містить матеріали понад 400 різних колекторів із різних регіонів та країн, зібрані, у позаминулому — на початку минулого сторіччя [13]. Колекція є «спадковою», перші екземпляри почав збирати ще батько Едуарда Ліндемана — Еммануїл Ліндеман на території сучасної Прибалтики.

Номенклатурні назви видів наведено відповідно до [14]. Або [15] — у цьому випадку перед назвою виду стоїть знак «*». Якщо вид не вдалося ідентифікувати за цими базами — перед назвою виду або форми стоїть знак «!».

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Конспект видів (у порядку розміщення родин за латинським алфавітом), зібраних на території ботанічного саду м. Одеса наведено далі у певному порядку (скорочення, прийняті на етикетці — збережені). Спочатку розташована загальноприйнята назва виду [14; 15]. Позначення колекції, в якій виявлено екземпляр виду. Назва виду, вказана у колекції (якщо вона різниться від сучасної). Порядковий номер гербарного аркуша у колекції. Позначення локації. Дата збору (якщо є). Колектор (якщо є).

Anacardiaceae

***Rhus coriaria* L.** H.U.N.R.: № 9497. Hort. Odessam. Nordmann.

Araucariaceae

! *Araucaria excelsa* R.Br. ГВЖПК: № 126. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. М. Зеленецький.

Caesalpiniaceae

***Gleditsia triacanthos* L.** ГВЖПК. *Gleditschia triacantha* L.: 1291.2. Університет. Ботанічний сад. Одеса. 15/IX. 1917. Leg., det. Лід. Басарська.

Convallariaceae

***Polygonatum multiflorum* (L.) All.** H.U.N.R.: № 2373. Одеса Бот. сад. Квітень. Вальц.

Cupressaceae

***Cupressus funebris* Endl.** ГВЖПК: № 191.2. Ботанічний сад Одеса. IX.1919. Leg., det. М. Зеленецький.

**Juniperus bermudiana* L. ГВЖПК. *Juniperus Bermudiana* L: № 200. Ботанічний сад. Одеса. IX. 1919. Leg., det. M. Зеленецький.

***Juniperus chinensis* L.** ГВЖПК: 201. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

***Juniperus communis* L.** ГВЖПК: № 202. 2. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

***Juniperus sabina* L.** ГВЖПК. *Juniperus Sabina* L.: № 207.1. Універ. ботан. сад. Одеса. 14/IX. 1919. Leg., det. Лід. Басарська.

***Juniperus virginiana* L.** ГВЖПК: № 208. 10. Ботанічний сад. Одеса. IX. 1919. Leg., det. M. Зеленецький.

! *Libocedrus* sp. ГВЖПК: № 209.2. Ботанічний сад. Одеса. IX. 1919. Leg., det. M. Зеленецький.

***Platycladus orientalis* (L.) Franco.** ГВЖПК: № 185.11. Ботанічний сад. Одеса. IX. 1919. Leg., det. M. Зеленецький.

***Thuja occidentalis* L.** ГВЖПК: № 211.5. Ботанічний сад, Одеса. 1919. M. Зеленецький; № 211.2. Ботанічний сад. Одеса. X.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

Fabaceae

***Amorpha fruticosa* L.** ГВЖПК: № 1243. Університетськ. Ботаніч. сад. Одеса. 15/IX. 1917. Leg., det. Лід. Басарська.

Fagaceae

**Castanea vesca* Gaerth. Кол. Е. Ліндемана. *Castanea vesca* Garth. 1788 (*Fagus Castanea* L. 1737; *Castanea sativa* Mill. 1768; *C. vulgaris* Lam. 1783): № 6672. Hort. botan Odessanus. 9 septb. 1893. Prof. L. Rischawi. Herb. Ed. Lindemann.

! *Quercus pedunculata* Ehrh. var. *argenteo–picta* Hort. Кол. Е. Ліндемана: № 6676. Hort. Botan. Odessan. 9 sept. 1893. L. Rischawi. Herb. Ed. Lindemann; № 6677. Hort. Botan. Odessan. 9 sept. 1893. L. Rischawi. Herb. Ed. Lindemann.

! *Quercus pedunculata* Ehrh. var. *pulverulenta* Gerb. ГВЖПК: № 681.19. Од. бот. сад. Зібр. Рішаві. Визн. M. Зеленецький; № 681.20. Одеськ. бот. сад. Leg. Л. Рішаві. Det. M. Зеленецький.

Ginkgoaceae

***Ginkgo biloba* L.** Кол. Е. Ліндемана. *Ginkgo biloba* L. 1771 (Salisburia adiantifoha Sm. 1797; S. ginkgo Rich. 1826). № 0.183. Hort. Botan. Odessan. 9 Sept. 1893. L. Rischawi. Herb. Ed. Lindemann.

Loacaceae

**Blumenbachia insignis* Schrad. Кол. Е. Ліндемана. *Blumenbachia insignis* Schrad. 1825 (*Loasa palmata* Spr. 1825): № 2903. ex horto botan. Odessan. 9.09.1893. L. Rischawi. Herb. Ed. Lindemann.

Malvaceae

**Gossypium indicum* Lam. (*G. aglandulosum* Cav. 1787). Кол. Е. Ліндемана. *Gossypium indicum* Lam. (*G. aglandulosum* Cav. 1787): № 3167. Hort. Bot. Odessan. 9.09. L. Rischawi. Herb. Ed. Lindemann.

! *Gossypium simense* Ten. (G. [drinense] Fisch. Otto.). Кол. Е. Ліндемана: № 3167. Hort. Bot. Odessan. 9.09. L. Rischawi. Herb. Ed. Lindemann.

Oleaceae

! *Fraxinus excelsior* L. var. *argenteo–picta* Hort., α *argentea* Desf. 1809. Кол. Е. Ліндемана: № 3630. Hort. Botan. Odessan. 8.08. 1893. L. Rischawi. Herb. Ed. Lindemann.

! *Fraxinus excelsior* L. var. *concavifolis* Hort. Кол. Е. Ліндемана: № 3629. Hort. Botan. Odessan. 9.09.1893. L. Rischawi. Herb. Ed. Lindemann.

Passifloraceae

! *Loasta urens* Jacq. 1767. (*L. hispida* Lam. 1789). Кол. Е. Ліндемана: № 2902. Ex. horto botan Odessan. 9.09.1893. L. Rischawi. Herb. Ed. Lindemann.

Pinaceae

! *Abies arizonica* Merriam. var. *argentea*. ГВЖПК: № 130.1. Ботаніч. сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

**Abies concolor* Lindl. & Gordon. ГВЖПК. *Abies concolor* Lindl. et Gord. № 133.1. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

**Abies fraseri* Lindl. ГВЖПК. *Abies Fraseri* Lindl.: № 134.1–2. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

***Abies nordmanniana* (Steven) Spach.** ГВЖПК. *Abies Nordmanniana* Link.: 135.9–10. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

***Abies sibirica* Ledeb.** ГВЖПК: № 138.2. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

! *Cedrus Libani* Barr. (*Cedrus libani* Barr.). ГВЖПК: № 141.3. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

**Picea alba* Link. ГВЖПК: № 144.2. Ботанічний сад. Одеса. X. 1919. Leg., det. M. Зеленецький.

***Picea engelmannii* W.Parry ex Engelm.** ГВЖПК. *Picea Engelmanni* Englm. 145.2. Ботанічний сад. Одеса. IX. 1919. Leg., det. M. Зеленецький.

**Picea excelsa* DC. ГВЖПК: № 146.1. Ботанічний сад. Одеса. IX. 1919. Leg., det. M. Зеленецький.

**Picea polita* Carrière. ГВЖПК. Picea polita Carr.: № 152.1.–152.2. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

***Picea pungens* Engelm.** ГВЖПК: № 153.1. Ботанічний сад. Одеса. IX.1918. Leg., det. M. Зеленецький.

**Pinus laricio* subsp. *austriaca* (Höss) Endl. ГВЖПК. *Pinus laricio* Poir. var *austriaca* Endlich.: № 166.1–2. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

***Pinus mugo* Tarra (Pinus montana Mill.).** ГВЖПК. *Pinus montana* Mill.: № 169.4. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

***Pinus strobus* L.** ГВЖПК: № 176.1. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький; № 176.2. Університ. Ботаніч. саду. Одеса. 2/X. н.ст. Leg., det. Лід. Басарська; № 176.4. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

***Pinus sylvestris* L.** ГВЖПК: № 178.8. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

! *Pseudotsuga Douglasi glauca*. ГВЖПК: № 178.12. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

***Tsuga canadensis* (L.) Carrière.** ГВЖПК. *Tsuga canadensis* Carriere.: № 178.15. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

Ranunculaceae

***Clematis vitalba* L.** Кол. П. Шестерикова: № 3. Знайдено здичавілим в Одеському Ботанічному саду; часто розводиться в садах. Floret: все літо; знайдено квітучим 25/VII. P. Schesterikow. Flora Chersonensis.

Rhamnaceae

***Paliurus spina–christi* Mill.** Кол. П. Шестерикова. *Paliurus aculeatus* Lam. [*P. spina–christi* Mill.]: № 310. В Одеському колишньому ботаніч. саду. Floret: влітку, знайдено кв. 19.VII. P. Schesterikow. Flora Chersonensis.

Taxodiaceae

**Cryptomeria japonica* (L.f.) D. Don. ГВЖПК. *Cryptomeria japonica* Don.: № 179.2. Ботанічний сад. Одеса. IX.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

! *Taxus baccata* L. var. *pyramidalis* Hort. ГВЖПК: 120.6–7. Ботанічний сад. Одеса. X.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

! *Taxus baccata* L. var. *pendula*. ГВЖПК: № 120.12. Ботанічний сад. Одеса. X.1919. Leg., det. M. Зеленецький.

Отже, серед знайдених гербарних зразків представлено збори таких колекторів:

➢ Нордман Олександр Давидович (1803–1866). Запрошений викладати природничу історію у Рішельєвський ліцей, на базі якого у майбутньому буде створено Новоросійський університет, нині — ОНУ імені І.І. Мечникова. З 1834 р. О. Нордман став завідувачем Одеського ботанічного саду. З 1842 р. — офіційний директор [16]. За авторства цього вченого виявлено один зразок рослини *Rhus coriaria* у колекції H.U.N.R. Дата збору невідома, проте період має обмежуватися термінами перебування вченого у м. Одеса: від 1830 до 1848 рр.

➢ Зеленецький Микола Миколайович (1859–1923) — завідувач кафедри морфології та систематики рослин (1920–1923), очолював ботанічний Одеський університет (1920–1921). Вчений був одним із засновників сучасного гербарію ОНУ імені І.І. Мечникова [17]. Його збори видів рослин ботанічного саду сконцентровані у гербарній колекції ВЖПК, датуються 1917,

1919 рр. та представлені 39 гербарними аркушами.

➢ Басарська Лідія Дометіанівна (1890–1955) — асистент кафедри морфології та систематики рослин Одеського університету впродовж 1920–1923 рр. Основні наукові інтереси — лікарські рослини, засоби боротьби з бур'яновими рослинами, працювала також на базі Одеської обласної сільськогосподарської дослідної станції. Була ученицею М.М. Зеленецького [17]. Гербарні зразки за її авторства зібрані у 1917, 1919 рр. та представлені лише 5 аркушами.

➢ Шестериков Петро Степанович (1859–1929) — сформував перший визначник флори околиць м. Одеса [12], був членом Товариства природознавців [17]. Оскільки науковець віддавав перевагу дикорослим видам — із ботанічного саду представлені лише два екземпляри рослин: *Clematis vitalba*, екземпляр якого знайдено як «здичавіле» у бот. саду. А також — *Paliurus spina–christi*, рослину якого було виявлено «в Одеському колишньому ботаніч. саду». Можливо, мається на увазі територія на подвір'ї головного корпусу колишнього Новоросійського університету (м. Одеса, Дворянська, 2) [10].

➢ Рішаві Людвіг Адальбертович (1851–1915) — у гербарних матеріалах: L. Rischawi або Рішаві. Це професор, завідувач кафедри ботаніки у Новоросійському університеті (1885–1893). У цей самий час — керував ботанічним садом м. Одеса. У колі його наукових інтересів — фізіологічні роботи із тропізму рослин, а також альгологічні дослідження [17]. Л.А. Рішаві зібрав 12 гербарних зразків. Чотири з них — не датовано. Вісім представлені 1893 роком збору.

➢ Вальц Яків Якович (1841–1904). Закінчив Київський університет, згодом працював там екстраординарним професором кафедри ботаніки, був президентом Київського товариства природознавців. З 1871 р. — ординарний професор, з часом — завідувач кафедри ботаніки Новоросійського університету, а також — президент Новоросійського товариства природознавців [17]. В історичних колекціях з Одеського ботанічного саду знайдено лише один гербарний зразок рослини виду *Polygonatum multiflorum*, без дати збору. Крім того, представлено багато зразків за авторства цього видатного ботаніка, зібраних у ботанічному саду м. Києва до його переїзду у м. Одеса (їх у цій роботі не аналізовано).

Отже, відзначено 60 гербарних аркушів видів від різних колекторів, переважно періоду середини XIX та початку XX ст., рослини яких зібрано на території Одеського ботанічного саду. Вони представляють 45 видів і форм із 16 родин, а також один екземпляр, визначений лише до роду. Найбільше видів відносяться до родини Кипарисові — 8 видів та один рід. А також — родини Соснові — 17 видів та форм. За [14; 15] вдалося ідентифікувати 33 види. У переважній більшості — це дерева або чагарники.

За даними Немерцалова В.В. [18], у м. Одеса можна знайти 22 види із відмічених нами. До того ж 12 з них (54,55%) зустрічаються «поодиноко» у вузькому спектрі екотопів (*табл.*).

Характеристика локацій та частоти трапляння аналізованих видів м. Одеса за сучасних умов [18]

Латинські назви видів та родин	Локації, екотопи	Частота трапляння
Anacardiaceae		
Rhus coriaria L.	Ботанічний сад ОНУ, приватні садиби	Поодиноко
Caesalpiniaceae		
Gleditsia triacanthos L.	Всюди	Масово

Закінчення таблиці

Латинські назви видів та родин	Локації, екотопи	Частота трапляння
Cupressaceae		
Juniperus chinensis L.	Ботанічний сад ОНУ, елітне озеленення	Поодиноко
Juniperus communis L.	Ботанічний сад ОНУ, вуличне озеленення, елітне озеленення, парки, сквери, санаторії	Поодиноко
Juniperus sabina L.	Всюди	Часто
Juniperus virginiana L.	Всюди	Масово
Platycladus orientalis (L.) Franco.	Всюди	Масово
Thuja occidentalis L.	Всюди	Масово
Fabaceae		
Amorpha fruticosa L.	Всюди	Часто
Ginkgoaceae		
Ginkgo biloba L.	Ботанічний сад ОНУ, елітне озеленення, парки, сквери, приватні садиби, санаторії	Поодиноко
Pinaceae		
Abies concolor Lindl. & Gordon.	Ботанічний сад ОНУ, санаторії	Поодиноко
Abies fraseri Lindl.	Ботанічний сад ОНУ, санаторії	Поодиноко
Abies nordmanniana (Steven) Spach.	Ботанічний сад ОНУ, парки, сквери, санаторії	Зрідка
Abies sibirica Ledeb.	Ботанічний сад ОНУ	Поодиноко
Picea polita Carrière	Ботанічний сад ОНУ, елітне озеленення, приватні садиби	Поодиноко
Picea pungens Engelm.	Всюди	Масово
Pinus mugo Tarra	Ботанічний сад ОНУ, елітне озеленення	Поодиноко
Pinus strobus L.	Ботанічний сад ОНУ, приватні садиби, елітне озеленення, парки, сквери, санаторії	Зрідка
Pinus sylvestris L.	Ботанічний сад ОНУ, приватні садиби, елітне озеленення, парки, сквери, санаторії	Часто
Tsuga canadensis (L.) Carrière.	Ботанічний сад ОНУ	Поодиноко
Ranunculaceae		
Clematis vitalba L.	Приватні садиби, Ботанічний сад ОНУ, санаторії, дворове і внутрішньоквартальне озеленення, елітне озеленення, кладовища	Поодиноко
Rhamnaceae		
Paliurus spina–christi Mill.	Ботанічний сад ОНУ, приватні садиби, санаторії, дворове і внутрішньоквартальне озеленення, елітне озеленення	Поодиноко

Тому, ці види рослин є елементами насаджень загального, обмеженого, спеціального призначення [18]. З них 15 (68,18%) досі залишаються компонентами території Ботанічного саду ОНУ; сім видів (31,82%) зустрічаються «всюди».

Серед віднайдених зразків є представники важливих груп видів рослин. Так, *Ginkgo biloba* L. — рідкісна рослина із переліку рослин Одеської обл., та має категорію «екзот» [19].

Також *Amorpha fruticosa* L. є видом з високою інвазійною спроможністю. А також — «трансформером», що «активно та масово представлений в окремих районах» [5].

ВИСНОВКИ

Виявлено екземпляри видів рослин, які зберігаються у чотирьох історичних (іменних) гербарних колекціях MSUD, зібраних на території ботанічного саду м. Одеси при Одеському національному університеті імені І.І. Мечникова. Сформовано конспект цих видів та форм рослин. Серед колекторів тут: Нордман О.Д. (один гербарний зразок), Зеленецький М.М. (39), Басарська Л.Д. (п'ять), Шестериков П.С. (два), Рішаві Л.А. (12), Вальц Я.Я. (один). Виявлено 60 гербарних аркушів видів та форм рослин різних колекторів, періоду середини XIX – початку XX ст. Вони представляють 45 видів і форм із 16 родин. Найбільше екземплярів відносяться до родин *Cupressaceae* (8 видів) та *Pinacae* (17 видів та форм). З цих рослин нині у м. Одеса можна знайти 22 види; більшість з них (54,55%) зустрічаються «поодиноко» у насадженнях загального, обмеженого, спеціального призначення; 15 видів до цього часу є компонентами території Ботанічного саду ОНУ — 68,18%; сім видів (31,82%) зустрічаються «всюди». Також, вид *Ginkgo biloba* L. — созофіт із переліку рідкісних рослин Одеської обл., що має категорію «екзот»; вид *Amorpha fruticosa* L. є видом із високою інвазійною спроможністю та «трансформером» навколишнього середовища. Отже, ботанічні сади не втрачають ресурсної значущості в акліматизаційній, інтродукційній роботах, особливо для регіональних культигенних флор, які мають свої екологічні особливості. На відміну від аматорських центрів поширення культивованих видів рослин, ботанічні сади забезпечують наукове підґрунтя таких робіт. Зокрема, тут здійснюють спектр досліджень видових, формових рис рослин, із можливим подальшим прогнозуванням перспектив існування цих видів у даному регіоні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Немерцалов В.В., Коваленко С.Г., Васильева Т.В. Этапы интродукции древесно-кустарниковых растений в дендрофлору Одессы. *Вестник ВГУ. Сер.: География. Геоэкология*. 2010. № 2. С. 89–91.
2. Касьяновський В.О. Історичний нарис. З історії благоустрою та озеленення міста Миколаєва. Кінець XVIII — XIX ст.: зб. Миколаїв, 2016. С. 34–40. URL: http://www.niklib.com/resource/ozelenennya.pdf.
3. Вулиці та дороги населених пунктів. ДБН В.2.3-5:2018. *Інформаційний бюлетень Мінрегіону України*. 2018. № 5. С. 36–38. URL: https://www.slideshare.net/ssuser6b7473/7511-23-52018.
4. Немерцалов В.В. Оцінка фітосанітарного стану зеленої зони міста Одеси. *Рослини та урбанізація:* VIII Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Дніпро, 5 берез. 2019 р.). Дніпро, 2019. С. 128–129. URL: http://surl.li/trqil.
5. Протопопова В.В. та ін. Інвазійні види у флорі Північного Причорномор'я. Київ: Фітосоціоцентр, 2009. 56 с.
6. Бондаренко О.Ю., Назарчук Ю.С. Види рослин школи садівництва м. Одеси (XIX–XX ст.) (за матеріалами MSUD). *Агроекологічний журнал*. 2023. № 1. С. 47–57. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2023.276727.
7. Бондаренко О.Ю., Назарчук Ю.С. Перспективи та особливості існування видів роду *Oenothera* L. поза місць культивування в Одеській обл. *Агроекологічний журнал*. 2024. № 1. С. 26–37. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2024.29930. URL: http://journalagroeco.org.ua/issue/view/17820.
8. Бойко З.В., Горожанкіна Н.А., Грушка В.В. Розвиток екологічного туризму в Україні на основі використання потенціалу ботанічних садів. 2021. DOI: https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.6.88. URL: www.economy.nayka.com.ua.
9. Заіменко Н.В., Рахметов Д.Б., Гапоненко М.Б. та ін. Фундаментальні та прикладні аспекти інтродукції і збереження рослин у Національному ботанічному саду імені М.М. Гришка НАН України: моногр. Київ: Видавництво Ліра-К, 2022. 540 с.

URL: https://www.nas.gov.ua/EN/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=9781.
10. Возіанова Н.Г., Крицька Т.В., Левчук Л.В. та ін. 150-річна історія ботанічного саду Одеського національного університету імені І.І. Мечникова. *Вісник Одеського національного університету. Сер.: Біологія*. 2017. № 22 (40). С. 115–129. DOI: https://doi.org/10.18524/2077-1746.2017.1(40).105625.
11. Скарби гербарію ОНУ (MSUD). Гербарна колекція П.С. Шестерикова. Одеса: Освіта України, 2014. 196 с.
12. Шестериков П.С. Определитель растений окресностей. Одесса: Комерч. типография Сапожникова Б., 1912. 539 с.
13. Скарби гербарію ОНУ (MSUD). Гербарна колекція Е.Е. Ліндеманна. Одеса: «Освіта України», 2017. 776 с.
14. Mosyakin S.L. and Fedoronchuk M.M. Vascular Plants of Ukraine. A nomenclature Checklist. Kiev, 1999. 345 p.
15. International Plant Names Index. URL: https://www.ipni.org/.
16. Финский ботаник в Одессе. URL: https://grad.ua/ru/istoriya-odessy/82271-finskij-botanik-v-odesse.html.
17. Коваленко С.Г., Васильєва Т.В., Швець Г.А. Ботаніки і ботанічні дослідження в Одеському національному університеті ім. І.І. Мечникова (1865–2005). Одеса: Фенікс, 2005. 104 с.
18. Немерцалов В.В. Конспект дендрофлори Одеси. Одеса: Альянс Юг, 2007. 95 с.
19. Андрієнко Т.Л., Перегрим М.М. Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України (довідкове видання). Київ: Альтерпрес, 2012. С. 76–91. URL: https://www.botany.kiev.ua/doc/of_reg_sp.pdf.

REFERENCES

1. Nemertsalov, V.V., Kovalenko, S.G. & Vasileva, T.V. (2010). Etapy introduktsii drevesno–kustarnikovykh rasteniy v dendrofloru Odessy [Stages of the introduction of woody and shrubby plants into the dendroflora of Odessa]. *Vestnik VGU. Seriya: Geografiya. Geoekologiya — Vestnik VSU. Series: Geography. Geoecology, 2*, 89–91 [in Russian].
2. Kasianovskyi, V.O. (2016). Istorychnyi narys [Historical essay]. *Z istorii blahoustroiu ta ozelenennia mista Mykolaieva. Kinets XVIII–XIX st.: zbirnyk [From the history of improvement and greening of the city of Mykolaiv. The end of the 18th–19th centuries: collection]*. (pp. 34–40). Mykolaiv. URL: http://www.niklib.com/resource/ozelenennya.pdf [in Ukrainian].
3. Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv. DBN V.2.3-5:2018 [Streets and roads of settlements. DBN B.2.3-5:2018]. (2018). *Informatsiinyi biuleten Minrehionu Ukrainy — The publication is official. Information bulletin of the Ministry of Regions of Ukraine, 5*, 36–38. URL: https://www.slideshare.net/ssuser6b7473/7511-23-52018 [in Ukrainian].
4. Nemertsalov, V.V. (2019). Otsinka fitosanitarnoho stanu zelenoi zony mista Odesy [Assessment of the phytosanitary state of the green zone of the city of Odessa]. *Roslyny ta urbanizatsiia: materialy VIII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Plants and urbanization: materials of the VIII International Scientific and Practical Conference]*. (pp. 128–129). Dnipro. URL: http://surl.li/trqil [in Ukrainian].
5. Protopopova, V.V. et al. (2009). *Invasiini vydy u flori Pvnichnogo Prychornomorya [Invasive species in the flora of the Northern Black Sea coast]*. Kyiv: Fitosotsiosentr [in Ukrainian].
6. Bondarenko, O.Iu. & Nazarchuk, Yu.S. (2023). Vydy roslyn shkoly sadivnytstva m. Odesy (XIX–XX st.) (za materialamy MSUD) [Species of plants of the Odessa School of Horticulture (XIX–XX centuries) (based on MSUD materials)] *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal, 1*, 47–57. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2023.276727 [in Ukrainian].
7. Bondarenko, O.Iu. & Nazarchuk, Yu.S. (2024). Perspektyvy ta osoblyvosti isnuvannia vydiv rodu *Oenothera* L. poza mists kultyvuvannia v Odeskii obl. [Prospects and features of the existence of species of the genus *Oenothera* L. outside the places of cultivation in the Odesa region]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal, 1*, 26–37. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2024.29930. URL: http://journal agroeco.org.ua/issue/view/17820 [in Ukrainian].
8. Boiko, Z.V., Horozhankina, N.A. & Hrushka, V.V. Rozvytok ekolohichnoho turyzmu v Ukraini na osnovi vykorystannia potentsialu botanichnykh sadiv [The development of ecological tourism in Ukraine based on the use of the potential of botanical gardens]. (2021). DOI: https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.6.88. URL: www.economy.nayka.com.ua. [in Ukrainian].
9. Zaimenko, N.V., Rakhmetov, D.B., Haponenko, M.B. et al. (2022). *Fundamentalni ta prykladni aspekty introduktsii i zberezhennia roslyn u Natsionalnomu botanichnomu sadu imeni M.M. Hryshka NAN Ukrainy [Fundamental and applied aspects of the introduction and conservation of plants in the National Botanical Garden named after M.M. Hryshka of the National Academy of Sciences of Ukraine]*. Kyiv. URL: https://www.nas.gov.ua/EN/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=9781 [in Ukrainian].
10. Vozianova, N.H., Krytska, T.V., Levchuk, L.V. et al. (2017). 150-richna istoriia botanichnoho sadu Odeskoho natsionalnoho universytetu imeni I.I. Mechnykova [150-year history of the botanical garden of the Odessa National University named after I.I. Mechnikova]. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Seriia: Biolohiia — Bulletin of Odessa National University. Series: Biology, 22 (40)*, 115–129. DOI: https://doi.org/10.18524/2077-1746.2017.1(40).105625 [in Ukrainian].
11. *Skarby herbariiu ONU (MSUD). Herbarna kolektsiia P.S. Shesterykova [Treasures of the ONU herbarium (MSUD). Herbarium collection of P.S. Shesterikova]*. (2014). Odesa [in Ukrainian].

12. Shesterikov, P.S. (1912). *Opredelitel rasteniy okresnostey Odessy [Key to plants in the environs of Odessa]*. Odessa [in Russian].
13. *Skarby herbariiu ONU (MSUD). Herbarna kolektsiia E.E. Lindemanna [Treasures of the ONU herbarium (MSUD). Herbarium collection of E.E. Lindemann]*. (2017). Odesa [in Ukrainian].
14. Mosyakin, S.L. & Fedoronchuk, M.M. (1999). Vascular Plants of Ukraine. A nomenclature Checklist. Kiev [in English].
15. International Plant Names Index. URL: https://www.ipni.org/ [in English].
16. *Fynskyi botanyk v Odesse [Finnish botanist in Odessa]*. (n.d.). URL: https://grad.ua/ru/istoriya-odessy/82271-finskij-botanik-v-odesse.html [in Russian].
17. Kovalenko, S.H., Vasylieva, T.V. & Shvets, H.A. (2005). *Botaniky i botanichni doslidzhennia v Odeskomu natsionalnomu universyteti im. I.I. Mechnykova (1865–2005) [Botanists and botanical research at Odesa National University named after I.I. Mechnikov (1865–2005)]*. Odesa [in Ukrainian].
18. Nemertsalov, V.V. (2007). *Konspekt dendroflory Odesy [Synopsis of the dendroflora of Odesa]*. Odesa [in Ukrainian].
19. Andriienko, T.L. & Peregrym, M.M. (2012). *Ofitsiini pereliky rehionalno ridkisnykh roslyn administratyvnykh terytorii Ukrainy (dovidkove vydannia) [Official list of regionally rare plants of the administrative territories of Ukraine (reference edition)]*. Kyiv. URL: https://www.botany.kiev.ua/doc/of_reg_sp.pdf [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 16.05.2024

УДК 581.524.2:638.132:502.2111:582(477) DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311182

ЧУЖОРІДНІ ВИДИ РОСЛИН НЕКТАРОНОСІВ У ФЛОРІ УКРАЇНИ

В.І. Діденко[1], О.О. Кічігіна[2], Д.М. Постоєнко[1], І.Ю. Костіков[1,3]

[1]ННЦ «Інститут бджільництва імені П.І. Прокоповича» НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: vitaliiadidenko14@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5947-2307
e-mail: dmytroiap@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8551-5809

[2]Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: seednlen@ukr.net; ORCID: 0000-0003-0879-627X

[3]Державний науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України (м. Київ, Україна)
e-mail: avern25@i.ua; ORCID: 0000-0002-6071-7105

Чужорідні рослини становлять безпосередню загрозу природному аборигенному фіторізноманіттю, серед яких найнебезпечнішими для втрати біорізноманіття є інвазійні. Основною причиною появи чужорідних видів у неприродні для них екосистеми є людська діяльність. Зокрема, більшість із них стали такими через інтродукцію з метою культивування завдяки їх лікарським, медоносним та іншим корисним для людини властивостям. Тому, знання про їх біологію, потенціал до експансій, а також можливі методи моніторингу та контролю вкрай важливі. Адже отримання максимальної користі для задоволення суспільних потреб без шкоди для довкілля є актуальним завданням сьогодення. До того ж в Україні немає офіційно затверджених переліків чужорідних та інвазійних видів, не проведено їхньої інвентаризації, відсутні системи моніторингу та оцінки ризиків і втрат, немає адекватних та скоординованих заходів протидії біотичним інвазіям. Тому, метою нашої роботи було провести аналіз флори України, виявити у її складі чужорідні, зокрема інвазійні види рослин, що є нектароносами та/або пилконосами і скласти їх перелік. У результаті проведеного аналізу виявлено 63 чужорідні, зокрема 16 інвазійних видів судинних рослин із медоносними та/або пилконосними властивостями, що належать до 28 родин, 56 родів. Особливо цінними нектароносними чужорідними рослинами є: соняшник однорічний (Helianthus annuus L.), робінія звичайна (Robinia pseudoacacia L.), ваточник сирійський (Asclepias syriaca L.), павловнія пухнаста (Paulownia tomentosa (Thunb.) Siebold & Zucc.), золотушник канадський (Solidago canadensis L.), які здатні забезпечити значний промисловий медозбір. Враховуючи, що такі чужорідні рослини (які водночас є нектароносними), як гарбуз звичайний (Cucurbita pepo L.), редька городня (Raphanus sativus L.), соняшник однорічний (Helianthus annuus L.), горіх чорний (Juglans nigra L.), абрикос звичайний (Prunus armeniaca L.), виноград справжній (Vitis vinifera L.) є сільськогосподарськими культурами, їх поширення, як правило, обмежується сільськогосподарськими угіддями. Тому їх інвазії в природні екосистеми мінімальні, а користь є беззаперечною. Крім того, за вирощування чужорідних рослин завжди варто зважати на користь та економічну вигоду з їх реальною чи потенційною загрозою для природних екосистем.

Ключові слова: *біорізноманіття, фітоінвазії, нектароносні рослини, пилконосні рослини, бджільництво.*

ВСТУП

Інвазії чужорідних організмів є глобальною та загальновизнаною проблемою, вирішенням якої переймаються науковці багатьох країн світу. Чужорідні види становлять значну загрозу для всього світового біорізноманіття, флори й фауни певних екосистем, конкуруючи з місцевими видами за екологічні ніші, а також спричиняючи їх загибель. Серед чужорідних видів найнебезпечнішими є інвазійні, що несуть пряму загрозу аборигенному фіторізноманіттю, а також менеджменту екосистем, сільського та лісового господарств [1].

© В.І. Діденко, О.О. Кічігіна, Д.М. Постоєнко, І.Ю. Костіков, 2024

За визначенням, наведеним Продовольчою та сільськогосподарською організацією ООН (Food and Agriculture Organization, FAO): «Інвазійні види», також відомі як «чужорідні інвазійні види» — це види, інтродукція та розповсюдження яких на нові території загрожують екосистемам, місцям проживання чи іншим видам і завдають соціальної, економічної чи екологічної шкоди чи шкоди здоров'ю людини [2].

До того ж у своєму природному ареалі, інвазійні види не становлять загрози, оскільки їх чисельність добре контролюється біотичними та абіотичними чинниками. Зазвичай знання про їх біологію, потенціал до експансій, а також можливі методи моніторингу та контролю обмежені. Часто такі відомості недостатньо оприлюднені на міжнародному рівні. Тому, інформація про біологію, моніторинг і боротьбу з чужорідними інвазійними видами, які активно розширюють свій ареал на територіях, де вони не є аборигенними, є вкрай необхідною для подальшої розробки ефективних заходів щодо їх контролю й управління.

Так, для полегшення обліку і контролю групою спеціалістів з інвазійних видів (Invasive Species Specialist Group, ISSG) спеціальної комісії з виживання видів (Species Survival Commission, SSC) Міжнародного союзу охорони природи (IUCN) було розроблено Глобальну базу даних інвазійних видів (Global Invasive Species Database) [3], де у 2014 р. було висвітлено список «Сто найгірших інвазійних чужорідних видів у світі» (100 of the World's) [4], до якого, зокрема, увійшли 36 видів рослин. З метою поширення інформації про інвазійні види в Північній та Центральній Європі створено Європейську мережу інвазійних чужорідних видів (NOBANIS — Invasive Alien Species Fact Sheet) [5]. В Україні подібні ініціативи лише починають впроваджуватися. Так, було здійснено кілька спроб визначити найнебезпечніші інвазійні види рослин [2; 6–8] та розробити критерії оцінки їх інвазійності [9]. Найважливішим є те, що на сьогодні проблема інвазійних видів знаходиться у полі зору не лише науковців, а й державних посадовців. Про це свідчать затверджені Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 15 березня 2024 р. № 290 «Методичні рекомендації щодо оцінки наявного і потенційного впливу (ризиків) інвазійних чужорідних видів» [10].

Тому, **метою нашої роботи** було провести аналіз флори України, виявити у її складі чужорідні, зокрема інвазійні види рослин, що є нектароносами та/або пилконосами і скласти їх перелік.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Детальному вивченню питань щодо чужорідних видів у флорі України почали приділяти увагу ще на початку минулого століття [11]. Основоположником цього наукового напряму, безумовно, вважається М.І. Котов, який узагальнив інформацію про чужорідні види у флорі України [12]. Питання щодо екологічних загроз і впливу їх на довкілля та біорізноманіття подані у наукових публікаціях багатьох українських вчених, напрацювання яких у 2013 р. Р.І. Бурдою зі співав. було зведено у бібліографічному покажчику «Чужорідні види флори України: роки і автори». Відтоді вже вийшов 11 випуск цього видання [11]. Загалом бібліографія досягла обсягу в 3638 позицій, що вказує на те, що ці питання дотепер актуальні, не вирішені та потребують подальших досліджень. Біологічні інвазії є однією з найважливіших глобальних проблем сучасності [11].

Щороку кількість публікацій щодо вивчення чужорідних видів у флорі України збільшується. Так, розробленню методичних аспектів прогнозування щодо питань поширення, біологічних, фізіологічних, екологічних особливостей інвазійних рослин присвячена наукова робота В.В. Буджака зі співав. [13]. Вивченню чужорідних рослин у природних екосистемах, урбо- та агроландшафтах, природоохоронних територіях, інтродукційних установах, тощо опубліковані роботи таких учених, як Р.І. Бурда, С.Л. Мосякін, В.В. Протопопова, М.В. Шевера, Я.П. Дідух, Д.В. Дубина, В.В. Коніщук, А.А. Куземко, Л.В. Зав'ялова,

Н.А. Пашкевич, О.І. Шиндер, Т.В. Фіцайло, С.М. Ємельянова, Т.П. Дзюба, О.О. Кучер та ін. [6–9; 12–17]. Особливої актуальності набувають дослідження нової загрози поширення інвазій у зв'язку зі збройною агресією на наших територіях [18]. Загалом кількість авторів, які досліджували чужорідні рослини у флорі України за період 1900–2023 рр., становить 1277 осіб [11]. У збірнику «Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні», наводяться відомості про 8241 знахідку 598 чужорідних видів в Україні (зокрема 457 видів судинних рослин) [19].

Однак, в Україні й досі не існує офіційно затвердженого переліку чужорідних та інвазійних видів, як рослин, так і тварин. Не проведено їхньої інвентаризації, відсутні системи моніторингу та оцінки ризиків і втрат, немає адекватних та скоординованих заходів протидії біотичним інвазіям. Винятком є лише Закарпатська обл., для якої у 2017 р. було складено офіційний регіональний список інвазійних видів рослин, до якого включено 31 вид [20]. Розпорядженням Кабінету Міністрів України № 573-р від 7 липня 2022 р. затверджено «План заходів із реалізації Стратегії на 2022–2025 роки» [21], до якого внесено низку заходів, що стосуються затвердження переліків інвазійних чужорідних видів рослинного та тваринного світу, їх інвентаризації, формування баз даних, здійснення моніторингу тощо [21].

Варто зазначити, що рік тому Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 03.04.2023 р. № 184 «Про затвердження Переліку інвазійних видів дерев із значною здатністю до неконтрольованого поширення, заборонених до використання у процесі відтворення лісів» [22] оприлюднено перелік 13 видів інвазійних видів дерев, щодо яких вводяться певні обмеження. Крім того, цей наказ втратив чинність на підставі іншого Наказу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України № 671 від 02.10.2023 р. [23]. Це ще раз вказує на невирішеність питання щодо інвазійних видів, зокрема дерев, та необхідності його доопрацювання.

У Європейському Союзі діє Регламент (ЄС) 1143/2014 «Про запобігання занесенню та поширенню інвазійних чужорідних видів», який чітко декларує ці питання на законодавчому рівні [24]. У Регламенті ЄС 2016/1141 опубліковано список, що включає 84 інвазійних чужорідних видів тварин і рослин, які офіційно визнані небажаними для території європейських країн [25]. Серед них сім видів рослин: айлант найвищий (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle), ваточник сирійський (*Asclepias syriaca* L.), елодея Нутталя (*Elodea nuttallii* (Planch.) St. John), борщівник Мантегацці (*Heracleum mantegazzianum* Sommier & Levier), борщівник Сосновського (*Heracleum sosnowskyi* Manden.), розрив-трава залозиста (*Impatiens glandulifera* Royle), пуерарія лопатева (*Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi) поширені в Україні.

Як відомо, основною причиною появи чужорідних видів у неприродних для них ареалах є людська діяльність [26]. Вплив антропогенного чинника на довкілля з часом зростає. Чужорідні види включаються у дедалі більшу кількість рослинних угруповань, стають постійними компонентами екосистем, впливаючи на їх функціонування. Часто такі впливи є негативними та незворотними. Більшість інвазійних видів рослин стали такими через інтродукцію з метою культивування завдяки їх лікарським, медоносним та іншим корисним для людини властивостям. Тому, серед великої кількості чужорідних рослин, поширених в Україні [19] є певний відсоток, що володіють господарсько-корисними властивостями, зокрема тих, які мають значення для бджільництва як нектароносні або пилконосні рослини. Оскільки інвазійні види вже стали постійними компонентами рослинного покриву, треба спробувати віднайти їх корисні властивості та використати із максимальною вигодою.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Перелік чужорідних, зокрема інвазійних рослин нектароносів складено на основі аналізу флористичних списків, літератур-

них джерел [27–29] та власних польових досліджень.

Латинські назви таксонів (видів та підвидів) наведені згідно з World Checklist of Vascular Plants (Govaerts, 2023) [30], з використанням ресурсу Plants of the World Online (POWO. 2024) [31].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У результаті проведеного аналізу флори України виявлено 63 чужорідних видів судинних рослин із медоносними та/або пилконосними властивостями, що належать до 28 родин, 56 родів. Із загального числа виявлених – 25% або 16 видів є інвазійними рослинами. Складено перелік чужорідних видів рослин нектароносів флори України (*табл.*).

Показники нектаропродуктивності 63 виявлених видів знаходяться у межах від 10 до 1000 кг/га [29]. Так, 22 види, як-от *Aesculus hippocastanum*, *Amorpha fruticosa*, *Berberis vulgaris*, *Brassica juncea*, *Centaurea cyanus*, *C. diffusa*, *Cichorium inthybus*, *Cotinus coggygria*, *Elaeagnus angustifolia*, *Helianthus annuus*, *Hippophaë rhamnoides*, *Lamium purpureum*, *Ligustrum vulgare*, *Lonicera tatarica*, *Malus domestica*, *Oenothera biennis*, *Prunus armeniaca*, *Raphanus sativus*, *Solidago canadensis*, *Trifolium hybridum*, *Vicia sativa* subsp. *nigra*, *Vitis vinifera* – мають показник нектаропродуктивності 10–100 кг/га. Для 9 видів: *Acer pseudoplatanus*, *Asclepias*

Перелік чужорідних видів рослин нектароносів у флорі України

№ з/п	Вид (українська назва)	Вид (латинська назва)	Родина
1	Клен ясенелистий*	*Acer negundo* L.	*Sapindaceae*
2	Клен несправжньоплатановий	*Acer pseudoplatanus* L.	*Sapindaceae*
3	Клен сріблястий	*Acer saccharinum* L.	*Sapindaceae*
4	Гіркокаштан звичайний	*Aesculus hippocastanum* L.	*Sapindaceae*
5	Ірга колосиста	*Amelanchier spicata* (Lam.) K. Koch	*Rosaceae*
6	Аморфа кущова*	*Amorpha fruticosa* L.	*Fabaceae*
7	Ваточник сирійський*	*Asclepias syriaca* L.	*Apocynaceae*
8	М'яточник чорний	*Ballota nigra* subsp. *ruderalis* (Sw.) Briq.	*Lamiaceae*
9	Барбарис звичайний	*Berberis vulgaris* L.	*Berberidaceae*
10	Гикавка сіра	*Berteroa incana* (L.) DC.	*Brassicaceae*
11	Огірочник лікарський	*Borago officinalis* L.	*Boraginaceae*
12	Гірчиця сарептська	*Brassica juncea* (L.) Czern.	*Brassicaceae*
13	Карагана дерев'яниста	*Caragana arborescens* Lam.	*Fabaceae*
14	Волошка синя	*Centaurea cyanus* L.	*Asteraceae*
15	Волошка розлога*	*Centaurea diffusa* Lam.	*Asteraceae*
16	Японська айва звичайна	*Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. ex Spach	*Rosaceae*
17	Цикорій дикий	*Cichorium inthybus* L.	*Asteraceae*
18	Ломиніс виткий	*Clematis vitalba* L.	*Ranunculaceae*
19	Скумпія звичайна	*Cotinus coggygria* Scop.	*Anacardiaceae*
20	Гарбуз звичайний	*Cucurbita pepo* L.	*Cucurbitaceae*
21	Ехінацея пурпурова	*Echinacea purpurea* (L.) Moench	*Asteraceae*
22	Маслинка вузьколиста*	*Elaeagnus angustifolia* L.	*Elaeagnaceae*
23	Злинка канадська*	*Erigeron canadensis* L.	*Asteraceae*
24	Витка гречка берізкова	*Fallopia convolvulus* (L.) Á. Löve	*Polygonaceae*

Закінчення таблиці

№ з/п	Вид (українська назва)	Вид (латинська назва)	Родина
25	Гледичія колюча*	*Gleditsia triacanthos* L.	*Fabaceae*
26	Соняшник однорічний	*Helianthus annuus* L.	*Asteraceae*
27	Борщівник сибірський	*Heracleum sibiricum*	*Apiaceae*
28	Борщівник Сосновського*	*Heracleum sosnowskyi* Manden.	*Apiaceae*
29	Обліпиха звичайна	*Hippophaë rhamnoides* L.	*Elaeagnaceae*
30	Розрив-трава дрібноцвіта*	*Impatiens parviflora* DC.	*Balsaminaceae*
31	Горіх чорний*	*Juglans nigra* L.	*Juglandaceae*
32	Глуха кропива пурпурова	*Lamium purpureum* L.	*Lamiaceae*
33	Чина бульбиста	*Lathyrus tuberosus* L.	*Fabaceae*
34	Бирючина звичайна	*Ligustrum vulgare* L.	*Oleaceae*
35	Жимолость татарська	*Lonicera tatarica* L.	*Caprifoliaceae*
36	Люпин багатолистий*	*Lupinus polyphyllus* Lindl.	*Fabaceae*
37	Повій звичайний	*Lycium barbarum* L.	*Solanaceae*
38	Яблуня домашня	*Malus domestica* Borkh.	*Rosaceae*
39	Ромашка пахуча	*Matricaria discoidea* DC.	*Asteraceae*
40	Люцерна посівна	*Medicago sativa* L.	*Fabaceae*
41	Шовковиця біла	*Morus alba* L.	*Moraceae*
42	Шовковиця чорна	*Morus nigra* L.	*Moraceae*
43	Енотера дворічна	*Oenothera biennis* L.	*Onagraceae*
44	Еспарцет виколистий	*Onobrychis viciifolia* Scop.	*Fabaceae*
45	Павловнія пухнаста*	*Paulownia tomentosa* (Thunb.) Siebold & Zucc.	*Paulowniaceae*
46	Абрикос звичайний	*Prunus armeniaca* L.	*Rosaceae*
47	Черемха пізня*	*Prunus serotina* Ehrh.	*Rosaceae*
48	Птелея трилиста	*Ptelea trifoliata* L.	*Rutaceae*
49	Редька городня	*Raphanus sativus* L.	*Brassicaceae*
50	Робінія звичайна*	*Robinia pseudoacacia* L.	*Fabaceae*
51	Верба ламка	*Salix euxina* I. V. Belyaeva	*Salicaceae*
52	Очиток скельний	*Sedum rupestre* L.	*Crassulaceae*
53	Сильфій пронизанолистий	*Silphium perfoliatum* L.	*Asteraceae*
54	Сухоребрик Льозеля*	*Sisymbrium loeselii* L.	*Brassicaceae*
55	Золотушник канадський*	*Solidago canadensis* L.	*Asteraceae*
56	Жовтий осот городній	*Sonchus oleraceus* L.	*Asteraceae*
57	Бузок звичайний	*Syringa vulgaris* L.	*Oleaceae*
58	Конюшина гібридна	*Trifolium hybridum* L.	*Fabaceae*
59	Вика сійна	*Vicia sativa* subsp. *nigra* (L.) Ehrh.	*Fabaceae*
60	Вика чотиринасінна	*Vicia tetrasperma* (L.) Schreb.	*Fabaceae*
61	Барвінок малий	*Vinca minor* L.	*Apocynaceae*
62	Фіалка польова	*Viola arvensis* Murray	*Violaceae*
63	Виноград справжній	*Vitis vinifera* L.	*Vitaceae*

Примітка: * зокрема інвазійні види рослин.

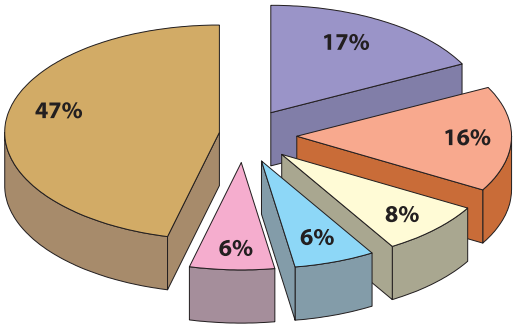
syriaca, *Borago officinalis*, *Caragana arborescens*, *Cucurbita pepo*, *Hyssopus officinalis*, *Medicago sativa*, *Onobrychis viciifolia*, *Silphium perfoliatum*, встановлено показники нектаропродуктивності у межах 100–200 кг/га. Для 3 видів: *Gleditsia triacanthos*, *Heracleum sibiricum*, *H. sosnowskyi* — 200–300 кг/га.

Два види: *Paulownia tomentosa*, *Robinia pseudoacacia*, мають найвищі значення показників нектаропродуктивності — 300–1000 кг/га [29].

Для 27 із виявлених видів, як-от *Acer negundo*, *A. saccharinum*, *Amelanchier spicata*, *Ballota nigra* subsp. *ruderalis*, *Berteroa incana*, *Chaenomeles japonica*, *Clematis vitalba*, *Echinacea purpurea*, *Erigeron canadensis*, *Fallopia convolvulus*, *Impatiens parviflora*, *Juglans nigra*, *Lupinus polyphyllus*, *Lycium barbarum*, *Matricaria discoidea*, *Morus alba*, *M. nigra*, *Prunus serotina*, *Ptelea trifoliate*, *Salix euxina*, *Sedum rupestre*, *Sisymbrium loeselii*, *Sonchus oleraceus*, *Syringa vulgaris*, *Vicia tetrasperma*, *Vinca minor*, *Viola arvensis* показники нектаропродуктивності не встановлено, оскільки ці види не формують монодомінантних угруповань, тому не здатні забезпечити значний медозбір, хоча охоче відвідуються бджолами за відсутності інших джерел взятку.

Провідними родинами, в яких зафіксовано чужорідні нектароносні рослини є *Fabaceae* — 11 видів (17%), *Asteraceae* — 10 видів (16), *Rosaceae* — 5 видів (8), *Brassicaceae* і *Sapindaceae* по 4 види (по 6%). Родини *Anacardiaceae*, *Balsaminaceae*, *Berberidaceae*, *Boraginaceae*, *Caprifoliaceae*, *Crassulaceae*, *Cucurbitaceae*, *Juglandaceae*, *Onagraceae*, *Paulowniaceae*, *Polygonaceae*, *Ranunculaceae*, *Rutaceae*, *Salicaceae*, *Solanaceae*, *Violaceae*, *Vitaceae* містять лише по одному виду з одного роду (*рис.*).

Проведений аналіз дав змогу встановити, що серед чужорідних є види з корисними властивостями, які знаходять своє застосування у різних галузях людської діяльності, зокрема у бджільництві. Так, серед наведених у списку 63 чужорідних та інвазійних нектароносних рослин є цінні нектароноси: соняшник однорічний (*Helianthus annuus*), робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia*), ваточник сирійський (*Asclepias syriaca*), павловнія пухнаста (*Paulownia tomentosa*), золотушник канадський (*Solidago canadensis*), які можуть забезпечити значний промисловий медозбір. Такі рослини, як гарбуз звичайний (*Cucurbita pepo*), редька городня (*Raphanus sativus*), соняшник однорічний (*Helianthus annuus*), горіх чорний (*Juglans nigra*), яблуня домашня (*Malus domestica*), абрикос звичайний (*Prunus armeniaca*), виноград справжній (*Vitis vinifera*) є сільськогосподарськими культурами, які вирощуються у багатьох господарствах України. Вони мають важливе значення для продовольчого забезпечення населення, а їх поширення, як правило, обмежується сільськогосподарськими угіддями. Тому їх інвазії у природні екосистеми мінімальні. Варто зазначити, що *Robinia pseudoacacia*, *Asclepias syriaca*, *Paulownia tomentosa*, *Solidago canadensis*, *Juglans nigra* є інвазійними видами. Таким чином, за вирощування чи використання чужорідних рослин завжди треба зважати на користь та економічну вигоду з їх реальною чи потенційною загрозою для природних екосистем.



Розподіл чужорідних рослин нектароносів за родинами

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного аналізу флори України, у її складі виявлено 63 чужорідних, зокрема 16 інвазійних видів судинних рослин (*Acer negundo*, *Amorpha fruticosa*, *Asclepias syriaca*, *Centaurea diffusa*,

Elaeagnus angustifolia, *Erigeron canadensis*, *Gleditsia triacanthos*, *Heracleum sosnowskyi*, *Impatiens parviflora*, *Juglans nigra*, *Lupinus polyphyllus*, *Paulownia tomentosa*, *Prunus serotina*, *Robinia pseudoacacia*, *Sisymbrium loeselii*, *Solidago canadensis*) з нектароносними та/або пилконосними властивостями, які належать до 56 родів із 28 родин та складено їх перелік.

Таксономічний аналіз чужорідних видів за родинами показав, що домінуючими, з числа виявлених є — *Fabaceae*, *Asteraceae*, *Rosaceae*, *Brassicaceae* та *Sapindaceae*.

Встановлено, що серед чужорідних рослин, п'ять є цінними нектароносами, які здатні забезпечувати значний промисловий медозбір. До них належать: соняшник однорічний (*Helianthus annuus*), робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia*), ваточник сирійський (*Asclepias syriaca*), павловнія пухнаста (*Paulownia tomentosa*), золотушник канадський (*Solidago canadensis*). До того ж робінія звичайна є джерелом високоякісного, дорогого меду, а соняшник однорічний — експортного.

Враховуючи стійку тенденцію до адвентизації рослинного покриву, постійного збільшення кількості чужорідних рослин, наведений перелік видів, що мають нектароносні та/або пилконосні властивості, в майбутньому може бути розширеним та доповненим.

ЛІТЕРАТУРА

1. The State of the World's Forests. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2022. 141 p. DOI: https://doi.org/10.4060/cb9360en.
2. Протопопова В.В., Мосякін С.Л., Шевера М.В. Фітоінвазії в Україні як загроза біорізноманіттю: сучасний стан і завдання на майбутнє. Київ: Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, 2002. 28 с. URL: https://www.botany.kiev.ua/doc/shevera38.pdf.
3. Global Invasive Species Database, 2023. URL: http://www.iucngisd.org/gisd/100_worst.phpon27-11-2023.
4. 100 of the World's Worst Invasive Alien Species. The Global Invasive Species Database, 2024. URL: http://www.iucngisd.org/gisd/100_worst.php.
5. NOBANIS — Invasive Alien Species Fact Sheet. — Online Database of the North European and Baltic Network on Invasive Alien Species, 2024. URL: http://www.nobanis.org Accepted 18/02/2024.
6. Куземко А.А. Топ-20 найнебезпечніших чужорідних видів рослин за даними електронних ресурсів iNaturalist і GBIF. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2023. № 19 (3). С. 297–305. DOI: https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2023-19-3-3.
7. Konishchuk V.V., Solomakha I.V., Mudrak O.V., Mudrak H.V. and Khodyn O.B. Ecological impact of phytoinvasions in Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. № 10 (3). P. 69–75. DOI: https://doi.org/10.15421/2020_135.
8. Бурда Р.І., Пашкевич Н.А., Бойко Г.В., Фіцайло Т.В. Чужорідні види охоронних флор Лісостепу України. Київ: Наукова думка, 2015. 117 с. URL: https://www.botany.kiev.ua/doc/chuj_vid_flor_ukr.pdf.
9. Пашкевич Н.А., Зуб Л.М., Лисогор Л.П., Прокопук М.С. До критеріїв оцінки загроз інвазійних чужорідних видів об'єктам ПЗФ України. Київ, Чернівці: Друк Арт, 2020. Т. 3. С. 265–271. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/05/T3_WEB_MonOchBioriz_Konference_2.pdf.
10. Методичні рекомендації щодо оцінки наявного і потенційного впливу (ризиків) інвазійних чужорідних видів. Затверджено Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 15 березня 2024 року № 290. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2024/03/290nd1_Metodychni-rekomendatsiyi.pdf.
11. Бурда Р.І., Протопопова В.В., Шевера М.В., Конякін С.М., Кучер О.О. Чужорідні види флори України: роки і автори. Вип. 11. Бібліографічний покажчик. Київ, 2024. 286 с. URL: https://www.botany.kiev.ua/doc/bibliograf11.pdf.
12. Котов М.І. Адвентивні рослини в УРСР. *Ботанічний журнал АН УРСР*. 1949. № 6 (1). С. 74–78. URL: https://drive.google.com/file/d/1DxRngF7UgaW-8gOemLUe8kN2WgRSR1sn/view.
13. Буджак В.В., Дідух Я.П., Чорней І.І., Токарюк А.І. Методичні аспекти прогнозування поширення адвентивних видів на основі фітоіндикації. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2019. № 15 (2). С. 113–123. DOI: https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2019-15-2-2.
14. Дубина Д.В., Ємельянова С.М., Дзюба Т.П. Рудеральна рослинність України: синтаксономічна різноманітність і територіальна диференціація. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2021. № 17 (3). С. 253–275. DOI: https://doi.org/ 10.32999/ksu1990-553X/2021-17-3-5.
15. Zavialova L.V., Kucher O.O. and Shevera M.V. Plant invasions in Ukraine. *Environmental & Socio-economic Studies*. 2021. № 9 (4). P. 1–13. DOI: https://doi.org/10.2478/environ-2021-0020.
16. Коніщук В.В. Перспективи досліджень збереження біорізноманіття агросфери в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 94 (3). С. 53–57. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201603-11.

17. Шиндер О.І., Дойко Н.М., Глухова С.А. Нові відомості про флори інтродукційних установ міст Києва і Білої Церкви (Київська область). *Чорноморський ботанічний журнал*. 2022. № 18 (1). С. 25–51. DOI: https://doi.org/ 10.32999/ksu1990-553X/2022-18-1-2.
18. Зав'ялова Л.В., Коломійчук В.П., Кучер О.О. Оцінка загрози спалаху фітоінвазій внаслідок війни. *Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій:* зб. матеріалів І Міжнар. наук.-практ. конф. (Полтава — Львів, 26–27 трав. 2022 р.). Полтава, 2022. С. 258–260. URL: https://nupp.edu.ua/uploads/files/0/events/conf/2022/i-mnpk-podolannia-eko-rizikiv/zbirnik-materialiv.pdf.
19. Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні. Сер.: «Conservation Biology in Ukraine». Вип. 29. Київ-Чернівці: Друк Арт, 2023. 520 с. URL: https://uncg.org.ua/znakhidky-chuzhoridnykh-vydiv-roslyn-ta-tvaryn-v-ukraini.
20. Шевера М.В., Протопопова В.В., Томенчук Д.Є. Перший в Україні офіційний регіональний список інвазійних видів рослин Закарпаття. *Вісник НАН України*. 2017. Вип. 10. С. 54–62. DOI: https://doi.org/10.15407/visn2017.10.053.
21. Про затвердження плану заходів з реалізації Стратегії біобезпеки та біологічного захисту на 2022–2025 роки: розпорядження від 07.07.2022 р. № 573. *Кабінет Міністрів України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/573-2022-%D1%80#Text.
22. Про затвердження Переліку інвазійних видів дерев із значною здатністю до неконтрольованого поширення, заборонених до використання у процесі відтворення лісів: наказ від 03.04.2023 р. № 184. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0641-23#Text.
23. Про визнання таким, що втратив чинність, наказу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 03 квітня 2023 року № 184: наказ від 02.10.2023 р. № 671. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1743-23#Text.
24. Regulation (EU) 1143/2014 of 22 October 2014 of the European Parliament and of the Council on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014R1143.
25. Commission Implementing Regulation (EU) 2016/1141 of 13 July 2016. Adopting a list of invasive alien species of Union Concern pursuant to Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02016R1141-20220802.
26. Panzavolta T., Bracalini M., Benigno A. and Moricca S. Alien invasive pathogens and pests harming trees, forests, and plantations: Pathways, global consequences and management. *Forests*. 2021. № 12. P. 1364. DOI: https://doi.org/10.3390/f12101364.
27. Боднарчук Л.І, Соломаха Т.Д., Ілляш А.М. Атлас медоносних рослин України (2-ге вид. доп.). Київ: Урожай. 2009. 272 с.
28. Соломаха І.В., Тимочко І.Я., Постоєнко В.О., Соломаха В.А. Нектароносні та пилконосні рослини у лісових насадженнях Середнього Лісостепового Придніпров'я. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 1. С. 38–45. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.257124.
29. Соломаха В.А., Постоєнко Д.М., Соломаха І.В., Шевчик В.Л. Особливості поширення нектароносних та пилконосних рослин в деревних та чагарникових угрупованнях басейну нижньої Сули. *Бджільництво України*. 2023. № 10. С. 60–68. DOI: https://doi.org/10.46913/beekeepingjournal.2022.10.08.
30. Govaerts R. The World Checklist of Vascular Plants (WCVP). 2023. Vol. 12. Kew: The Royal Botanic Gardens. DOI: https://doi.org/10.34885/jdh2-dr22.
31. POWO. Plants of the World Online. Kew: The Royal Botanic Gardens, 2024. URL: http://www.plantsoftheworldonline.org/Retrieved 27 February 2024.

REFERENCES

1. The State of the World's Forests. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). Rome. DOI: https://doi.org/10.4060/cb9360en [in English].
2. Protopopova, V.V., Mosyakin, S.L. & Shevera, M.V. (2002). *Fitoinvazii v Ukraiini iak zahroza bioriznomanittiu: suchasnii stan i zavdannya na maybutnie [Phytoinvasions in Ukraine as a threat to biodiver-sity: current state and challenges for the future]*. Kyiv. URL: https://www.botany.kiev.ua/doc/shevera38.pdf [in Ukrainian].
3. Global Invasive Species Database. (2023). URL: http://www.iucngisd.org/gisd/100_worst.php on 27-11-2023 [in English].
4. 100 of the World's Worst Invasive Alien Species. The Global Invasive Species Database (2024). URL: http://www.iucngisd.org/gisd/100_worst.php [in English].
5. NOBANIS — Invasive Alien Species Fact Sheet. Online Database of the North European and Baltic Network on Invasive Alien Species. (2024). URL: http://www.nobanis.org Accepted 18/02/2024 [in English].
6. Kuzemko, A.A. (2023). Top — 20 nainebezpechnishykh chuzhoridnykh vydiv roslyn za danymy elektronnykh resursiv iNaturalist i GBIF [Top 20 of the most dangerous alien plant species according to iNaturalist and GBIF electronic resources]. *Chornomors'kyi botanichnyi zhurnal — Chornomorski Botanical Journal, 9 (3)*, 297–305. DOI: https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2023-19-3-3 [in Ukrainian].
7. Konishchuk, V.V., Solomakha, I.V., Mudrak, O.V., Mudrak, H.V. & Khodyn, O.B. (2020). Ecological

impact of phytoinvasions in Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology, 10 (3)*, 69–75. DOI: https://doi.org/10.15421/2020_135 [in English].
8. Burda, R.I., Pashkevych, N.A., Boiko, G.V. & Fitsailo, T.V. (2015). *Chuzhoridni vydy okhoronnykh flor Lisostepu Ukraiiny [Alien species of the protect floras of forest-steppe of Ukraine]*. Kyiv. URL: https://www.botany.kiev.ua/doc/chuj_vid_flor_ukr.pdf [in Ukrainian].
9. Pashkevych, N.A., Zub, L.M., Lysohor, L.P. & Prokopuk, M.S. (2020). *Do kryteriiv otsinky zahroz invaziinykh chuzhoridnykh vydiv obiektam PZF Ukrainy [The criteria for assessing the threats of invasive alien species to the objects of the Nature Conservation Fund of Ukraine]*. (Vol. 3). Kyiv, Chernivtsi — Druk Art. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/05/T3_WEB_MonOchBioriz_Konference_2.pdf [in Ukrainian].
10. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine (2024). *Metodychni rekomendatsii shchodo otsinky naiavnoho i potentsiinoho vplyvu (ryzykiv) invaziynykh chuzhoridnykh vydiv [Methodological recommendations for assessing the existing and potential impact (risks) of invasive alien species]*. Kyiv. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2024/03/290nd1_Metodychni-rekomendatsiyi.pdf [in Ukrainian].
11. Burda, R.I., Protopopova, V.V. & Shevera, M.V. (2024). *Chuzhoridni vydy flory Ukrainy: roky i avtory [Alien Species in the Flora of Ukraine: Years and Authors]*. (Vol. 11). Kyiv. URL: https://www.botany.kiev.ua/doc/bibliograf11.pdf [in Ukrainian].
12. Kotov, M.I. (1949). Adventyvni roslyny v URSR [Adventive species in the Ukrainian SSR]. *Botanichnyi zhurnal AN URSR — Botanical Journal of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 6 (1)*, 74–78. URL: https://drive.google.com/file/d/1DxRngF7UgaW-8gOemLUe8kN2WgRSR1sn/view [in Ukrainian].
13. Budzhak, V.V., Didukh, Ya.P., Chornei, I.I. & Tokariuk, A.I. (2019). Metodychni aspekty prohnozuvannia poshyrennia adventyvnykh vydiv na osnovi fitoindykatsii [Methodological aspects of prediction of distribution of alien species on the basis of phytoindication]. *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal — Chornomorski botanical journal, 15 (2)*, 113–123. DOI: https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2019-15-2-2 [in Ukrainian].
14. Dubyna, D.V., Yemelianova, S.M. & Dziuba, T.P. (2021). Ruderalna roslynnist Ukrainy: syntaksonomichna riznomanitnist i terytorialna dyferentsiatsiia [Ruderal vegetation of Ukraine: syntaxonomical diversity and territorial differentiation]. *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal — Chornomorski botanical journal, 17 (3)*, 253–275. DOI: https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2021-17-3-5 [in Ukrainian].
15. Zavialova, L.V., Kucher, O.O. & Shevera, M.V. (2021). Plant invasions in Ukraine. *Environmental & Socio-economic Studies, 9 (4)*, 1–13. DOI: https://doi.org/10.2478/environ-2021-0020 [in English].
16. Konishchuk, V.V. (2016). Perspektyvy doslidzhen zberezhennia bioriznomanittia agrosfery v Ukraiini [Perspectives of researches of preserving biodiversity of agrosphere in Ukraine]. *Visnyk agrarnoii nauky — Bulletin of Agricultural Science, 94 (3)*, 53–57. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201603-11 [in Ukrainian].
17. Shynder, O.I., Doiko, N.M. & Hlukhova, S.A. (2022). Novi vidomosti pro flory introduktsiinykh ustanov mist Kyieva i Biloi Tserkvy (Kyivska oblast) [New information about the flora of plant introduction institutions in Kyiv and Bila Tserkva (Kyiv region)]. *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal — Chornomorski botanical journal, 18 (1)*, 25–51. DOI: https://doi.org/ 10.32999/ksu1990-553X/2022-18-1-2 [in Ukrainian].
18. Zavialova, L.V., Kolomiichuk, V.P. & Kucher, O.O. (2022). Otsinka zahrozy spalakhu fitoinvazii vnaslidok viiny [Assessment of the threat of an outbreak of phytoinvasion as a result of the war]. *Podolannia ekolohichnykh ryzykiv ta zahroz dlia dovkillia v umovakh nadzvychainykh sytuatsii [Overcoming environmental risks and threats to the environment in emergency situations]*. (pp. 258–260). Poltava: NUPP [in Ukrainian].
19. Znakhidky chuzhoridnykh vydiv roslyn ta tvaryn v Ukraini [Records of alien plant and animal species in Ukraine]. (2023). URL: https://uncg.org.ua/znakhidky-chuzhoridnykh-vydiv-roslyn-ta-tvaryn-v-ukraini [in Ukrainian].
20. Shevera, M.V., Protopopova, V.V. & Tomenchuk, D.Ie. (2017). Pershyi v Ukraini ofitsiinyi rehionalnyi spysok invaziinykh vydiv roslyn Zakarpattia [The first official regional list of invasive plant species of Transcarpathia in Ukraine]. *Visnyk NAN Ukrainy — Bulletin of the NAS of Ukraine, 10*, 54–62. DOI: https://doi.org/10.15407/visn2017.10.053 [in Ukrainian].
21. Pro zatverdzhennia planu zakhodiv z realizatsii Stratehii biobezpeky ta biolohichnoho zakhystu na 2022–2025 roky: rozporyadzhennya vid 07.07.2022. № 573 [On the approval of the plan of measures for the implementation of the Biosafety and Biological Protection Strategy for 2022-2025: order of July 07, 2022. No 573]. *Kabinet Ministriv Ukrayiny — Cabinet of Ministers of Ukraine*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/573-2022-%D1%80#Text [in Ukrainian].
22. Pro zatverdzhennia Pereliku invaziinykh vydiv derev iz znachnoiu zdatnistiu do nekontrolovanoho poshyrennia, zaboronenykh do vykorystannia u protsesi vidtvorennia lisiv: nakaz vid 03.04.2023. № 184 [On the approval of the List of invasive tree species with a significant capacity for uncontrolled spread, prohibited for use in the process of forest reproduction: order of April 3, 2023. No 184]. *Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy — Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0641-23#Text [in Ukrainian].
23. Pro vyznannia takym, shcho vtratyv chynnist, nakazu Ministerstva zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy vid 03 kvitnia 2023 roku № 184: nakaz vid 02.10.2023. № 671 [On recognition as invalid of the order of the Ministry of Environment Protection and Natural Resources of Ukraine dated April 3, 2023 No.

184: order of October 2, 2023. No 671]. *Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy — Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1743-23#Text [in Ukrainian].
24. Regulation (EU) 1143/2014 of 22 October 2014 of the European Parliament and of the Council on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species. (n.d.). URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014R1143 [in English].
25. Commission Implementing Regulation (EU) 2016/1141 of 13 July 2016. Adopting a list of invasive alien species of Union Concern pursuant to Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02016R1141-20220802 [in English].
26. Panzavolta, T., Bracalini, M., Benigno, A. & Moricca, S. (2021). Alien invasive pathogens and pests harming trees, forests, and plantations: Pathways, global consequences and management. *Forests, 12*, 1364. DOI: https://doi.org/10.3390/f12101364 [in English].
27. Bodnarchuk, L.I., Solomakha, T.D. & Illiash, A.M. (2009). *Atlas medonosnykh roslyn Ukrainy [Atlas of honey plants of Ukraine]*. (Vol. 2). Kyiv [in Ukrainian].
28. Solomakha, I.V., Tymochko, I.Ia., Postoienko, V.O. & Solomakha, V.A. (2022). Nektaronosni ta pylkonosni roslyny u lisovykh nasadzhenniakh Serednoho Lisostepovoho Prydniprovia [Nectar-bearing and pollen-bearing plants in the forest stands of the Middle Forest-Steppe of the Dnieper region]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal, 1*, 38–45. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.257124 [in Ukrainian].
29. Solomakha, V.A., Postoienko, D.M., Solomakha, I.V. & Shevchyk, V.L. (2023). Osoblyvosti poshyrennia nektaronosnykh ta pylkonosnykh roslyn v derevnykh ta chaharnykovykh uhrupovanniakh baseinu nyzhnoi Suly [Features of the distribution of nectar-bearing and pollen-bearing plants in the tree and shrub groups of the lower Sula basin]. *Bdzhilnytstvo Ukrainy — Beekeeping of Ukraine, 10*, 60–68. DOI: https://doi.org/10.46913/beekeepingjournal.2022.10.08 [in Ukrainian].
30. Govaerts, R. (2023). The World Checklist of Vascular Plants (WCVP). (Vol. 12). Kew. DOI: https://doi.org/10.34885/jdh2-dr22 [in English].
31. POWO. Plants of the World Online. (2024). URL: http://www.plantsoftheworldonline.org/Retrieved 27February 2024 [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 04.07.2024

УДК 502:504:528.8 DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311183

МОНІТОРИНГ ПРОЦЕСІВ ОПУСТЕЛЮВАННЯ АГРОЕКОСИСТЕМ ЗА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ: ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Д.П. Васільєв, Т.В. Ільєнко

Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: freimaster.af@gmail.com; ORCID: 0009-0005-0578-3539
e-mail: tilienko@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5406-5449

Опустелювання — це серйозна екологічна проблема, яка зачіпає мільйони людей у всьому світі. Для успішного розв'язання проблем, виникаючих унаслідок опустелювання в агроекосистемах, у локальному та регіональному масштабах важливим є отримання об'єктивної інформації щодо просторового розповсюдження цих процесів. Дистанційне зондування відіграє важливу роль у моніторингу опустелювання завдяки відносно низькій вартості, можливості охоплення великих територій та використання різних датчиків і методів аналізу даних. Інтегрований підхід із залученням ГІС, математичних моделей та наземних спостережень забезпечує більш точну оцінку деградації земель. Метою дослідження є узагальнення досвіду використання даних дистанційного зондування Землі для моніторингу та оцінки процесів опустелювання і деградації земель українськими і закордонними дослідниками у світовому та національному контекстах, визначення перспективи подальшого розвитку й удосконалення методик дистанційного зондування для комплексного моніторингу процесів опустелювання в агроекосистемах та деградації ґрунтів. У роботі проаналізовано досвід застосування даних супутникового дистанційного зондування, математичних моделей опустелювання та геоінформаційних систем для визначення територій, схильних до деградації земель, у різних регіонах світу. Розглянуто специфіку адаптації моделей до локальних умов із використанням додаткових параметрів. Висвітлено напрацювання українських учених щодо супутникового моніторингу агроландшафтів, їх класифікації та оцінки стану агроландшафтів за даними ДЗЗ. Окреслено перспективи подальших досліджень. Продемонстровано ефективність інтегрованого підходу із залученням геоінформаційних систем, супутникових даних, аналізу екологічних показників та математичних моделей опустелювання, адаптованих до регіональних особливостей. Пріоритетними напрямами залишаються адаптація моделей до регіональних особливостей, розробка прогнозних методик із використанням ДЗЗ, поглиблення міжнародного обміну даними та досвідом. Необхідно продовжувати вдосконалення методик дистанційного моніторингу для своєчасного виявлення деградаційних процесів та розширювати дослідження на національному рівні для вжиття відповідних заходів.

Ключові слова: *дистанційне зондування Землі, ерозія, супутникові дані, ГІС, індекси ґрунтів, агроландшафт.*

ВСТУП

У 1977 р. на Конференції Організації Об'єднаних Націй щодо боротьби з опустелюванням офіційно визнано складність та глобальний масштаб проблеми деградації земель та опустелювання. У результаті Конференції був розроблений план дій для подолання цієї проблеми. Пізніше, у 1992 р., під час Конференції ООН з довкілля та розвитку у Ріо-де-Жанейро, було створено Міждержавний переговорний комітет із метою підготовки Конвенції ООН про боротьбу з опустелюванням у країнах, які страждають від серйозної посухи та/або опустелювання, зокрема в Африці. У червні 1994 р. у Парижі було ухвалено та відкрито для підписання Конвенції. Через 90 днів після ратифікації Конвенції 50 країнами вона набула чинності у грудні 1996 р. У липні 2002 р. Верховна Рада України прийняла Закон України № 61-IV «Про приєднання України до Конвенції Організації Об'єднаних Націй про боротьбу з

© Д.П. Васільєв, Т.В. Ільєнко, 2024

опустелюванням у тих країнах, що потерпають від серйозної посухи та/або опустелювання, особливо в Африці» [1]. Отже, Україна приєдналася до Конвенції та взяла на себе зобов'язання реалізувати її положення.

Основною метою Конвенції про боротьбу з опустелюванням є запобігання подальшій деградації земель, зокрема сільськогосподарських, та мінімізація негативного впливу посушливих явищ на сільське господарство. Ці процеси супроводжуються зростанням рівня бідності серед населення, зменшенням біорізноманіття, особливо на аграрних територіях, що зумовлюють посилення викидів парникових газів, зокрема через дегуміфікацію ґрунтів, що впливає на зміну клімату у глобальному масштабі. Стратегічні цілі Конвенції спрямовано на відновлення пошкоджених екосистем та покращання умов проживання населення, що потерпає від опустелювання [2].

Мета цієї роботи — проаналізувати та узагальнити міжнародний досвід використання даних дистанційного зондування Землі для моніторингу та оцінки процесів опустелювання агроекосистем і деградації земель у світовому та національному контекстах; визначити ключові методи, математичні моделі, підходи та інструменти, що застосовуються у світовій і вітчизняній практиці для виявлення, картографування, аналізу динаміки і прогнозування згаданих деградаційних явищ; розкрити напрями досліджень українських та закордонних вчених у сфері застосування супутникової інформації для моніторингу деградації земель; окреслити перспективи подальшого розвитку й удосконалення методик дистанційного зондування для комплексного моніторингу процесів опустелювання агроекосистем та деградації ґрунтів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження здійснюється шляхом системного аналізу, узагальнення та синтезу інформації з наукових публікацій, патентів та авторських свідоцтв щодо використання даних дистанційного зондування Землі для виявлення, оцінки та моніторингу процесів опустелювання агроекосистем і деградації земель. Застосовується діалектичний підхід, методи групування, конкретизації та абстрагування для формування висновків.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Деградація та втрата земельних ресурсів мають серйозні екологічні та економічні наслідки в глобальному масштабі. Згідно з оцінками ООН майже 12 млн га орних земель щороку втрачається через посуху та опустелювання. Процес деградації земель, що відбувається у посушливих, напівпосушливих та напівсухих екосистемах, часто називають опустелюванням. Це явище визнано однією з найбільших проблем для міжнародної спільноти через численні пов'язані з ним екологічні проблеми, як-от деградація ґрунту, засолення, замулення та пилові бурі. Для вивчення процесу опустелювання та його впливу зазвичай аналізують довгострокові серії даних вимірювань характеристик ґрунту. Хоча цей підхід дає детальне розуміння фізичних процесів, проте обмежений у плані просторового охоплення. Через лімітований доступ до каліброваного обладнання та недостатній досвід збору довгострокових даних у багатьох посушливих регіонах виникають додаткові труднощі для наземного моніторингу. Тому дані дистанційного зондування Землі з супутників активно використовуються для вивчення процесів опустелювання в агроекосистемах. Завдяки можливості забезпечувати широке просторове та часове покриття, ці дані дають змогу досліджувати опустелювання від локального до глобального рівня впродовж тривалого часу. Початком вивчення опустелювання методами дистанційного зондування можна вважати 1981 р., коли Ульф Геллден визначав підходи до відновлення деградованих екосистем в Африці, аналізуючи серії довгострокових значень NDVI з 1981 по 1987 рр., отриманих за супутниковими даними NOAA/AVHRR [3]. У подальшому спостерігалося значне зрос-

тання кількості наукових досліджень та розробки нових методик, присвячених вивченню процесів опустелювання із застосуванням супутникових даних.

Дослідження чутливості екосистем до опустелювання у різних країнах, як-от Іран, Алжир, Єгипет та ін., виконані за допомогою методики MEDALUS, представляють значний внесок у розуміння та прогнозування процесів деградації земельних ресурсів. Методика MEDALUS, розроблена для оцінки чутливості екосистем до опустелювання в рамках одноіменної міжнародної програми. Вона враховує різні чинники, як-от клімат, ґрунт, рослинність та антропогенний вплив, і дає можливість моделювати вплив цих чинників на екосистеми. Ця методика спочатку була впроваджена для регіону Середземномор'я, але згодом вона була застосована і в інших країнах світу. Одним із прикладів такого дослідження є вивчення ризику опустелювання в Ійзад Хаст, Іран [4]. Вчені використовували комплексний підхід, застосувавши 20 різних параметрів. Наступним кроком було розроблення карти чотирьох основних показників для моделі MEDALUS, а саме клімату, ґрунту, рослинності та землекористування. Згодом вони додали додаткові параметри, як-от ґрунтові води та вітрова ерозія, для збільшення точності моделі. Порівняння двох отриманих карт дало змогу підтвердити, що додавання регіонально-специфічних параметрів у модель може більш точно відтворювати процеси опустелювання.

У дослідженні чутливості до опустелювання екосистеми западини Ваді Ель-Натрун, Єгипет [5], було використано просторовий аналіз у ГІС. Для цього вчені застосовували тематичні шари ґрунтів, рослинності, клімату та якості управління, оброблені з різних джерел, включаючи топографічні та геологічні мапи, а також супутникові зображення. Вони використали функцію просторового аналізатора для визначення індексу опустелювання та створення карт чутливих зон.

Ще одним прикладом є дослідження екологічної чутливості до опустелювання в Східному Алжирі [6], де також використовувалась методологія MEDALUS. Вчені застосовували тематичні шари, як-от рослинність, клімат, ґрунт та соціоекономічний стан, для визначення чутливості земельних ресурсів до опустелювання. Основна мета полягала в ідентифікації місць із різною чутливістю до деградації ґрунтів та розробці моделі для прогнозування опустелювання в регіоні Аурес на основі індексу чутливих зон до деградації ґрунтів, до яких належать якісні показники якості довкілля (клімат, рослинність, ґрунт), так і антропогенні чинники (управління), враховані як вагові шари.

Ще одним важливим дослідженням є робота, проведена на території Північного Синаю в Єгипті [7], де науковці оцінювали її чутливість до опустелювання за моделлю MEDALUS. Вони врахували шість індексів якості, як-от вода, клімат, ґрунт, вегетація, управління та вітрова ерозія. Застосувавши модель MEDALUS, вчені здійснили оцінку процесів опустелювання на основі цих показників і встановили, що найбільший вплив на процес опустелювання мають індекси клімату і вегетаційний індекс, а також індекс якості управління. У той час як індекс якості ґрунту має менший вплив.

Схоже дослідження також проводилося в оазисі Ел-Дахла [8], пустелі Західного Єгипту, де вчені оцінювали сучасне кліматичне опустелювання. Вони обрали ключові індекси, як-от температура, кількість опадів, вітер, альбедо, показники ґрунтових вод та ґрунту, і застосували інтеграцію методики MEDALUS, ГІС та дистанційного зондування для аналізу цих показників. Це дослідження дало змогу отримати уявлення про тенденції в опустелюванні в цьому регіоні та визначити основні чинники, що впливають на цей процес.

Усі ці дослідження є частиною широкого спектра наукових робіт, спрямованих на розуміння та боротьбу з опустелюванням у різних частинах світу. Вони демонструють значення застосування сучасних методів аналізу та моделювання, як-от MEDALUS і ГІС, для вивчення та моніторингу стану навколишнього середовища та земельних

ресурсів, а також розробки ефективних стратегій збереження та відновлення деградованих екосистем.

У роботі [9] проведено класифікацію програм дистанційного зондування на чотири категорії: класифікацію покриву, оцінку структур, виявлення змін та моделювання. Відзначено великий потенціал засобів дистанційного зондування Землі у забезпеченні оцінки процесів деградації завдяки своїй відносно низькій вартості порівняно з іншими методами та в оцінці біомаси на великих територіях, особливо на регіональному або національному рівнях, де відсутні польові дані. Розроблено низку методик дистанційного моніторингу процесів опустелювання.

Перша світова карта деградації ґрунтів була оприлюднена Глобальною програмою оцінки зниження родючості ґрунтів унаслідок антропогенного впливу (GLASOD) у 1991 р. [10]. Проєкт фінансували та реалізовували під егідою Програми Організації Об'єднаних Націй із навколишнього середовища (ЮНЕП) у співпраці з Міжнародним центром інформації щодо ґрунтів (ISRIC). Це забезпечило першу приблизну оцінку деградації земель на світовому рівні. Однак рекомендації, запропоновані ISRIC, не були застосованими у багатьох країнах, оскільки були або занадто складними, або недостатньо точними, тому для оцінки використовувалися відмінні параметри для різних країн. Загалом, ця ініціатива була корисною та відіграла важливу роль у свідомому розумінні масштабів проблеми на глобальному рівні, незважаючи на неповні та неоднорідні результати.

Що стосується регіонального і локального рівнів, то цій області присвячені численні дослідження вчених із багатьох країн. Наприклад, було розроблено експертну систему для оцінки екологічної чутливості DSS-ESI для визначення ризику опустелювання на місцевому рівні для регіону Базилікату в Італії [11]. Результатом є комплексний індекс чутливості земель до опустелювання (ESI), розрахований окремо для найбільш репрезентативних типів земельного покриву на досліджуваній території. Він включає різноманітні типи змінних: ґрунтові, кліматичні, рослинні та землекористування. В інших дослідженнях вони розглядаються як індикатори опустелювання.

Для оцінки та моніторингу процесів деградації земель та опустелювання в Мексиці [12] використовувалися регіональні тренди таких індикаторів опустелювання, як чиста первинна продуктивність (NPP) та рослинний покрив (CC), отриманих за допомогою супутникових даних, які є вільно доступними.

Доступ до супутникових зображень відкрив нові можливості для визначення, оцінки та контролю за поширенням опустелювання та деградацією земель за допомогою показників, отриманих на основі багатоспектральних супутникових даних. Часові тренди цих показників показують закономірності та тенденції розвитку цих процесів у часі. Тому, дистанційне зондування постає як інструмент оцінки деградації земель та опустелювання.

Методи моніторингу стану та змін ландшафтів використовують переваги та потенціал супутникових знімків дистанційного зондування. Більшість досліджень зосереджено на виявленні зменшення рослинного покриву. Значна кількість досліджень аналізує можливості дистанційного зондування, різні підходи та дані дистанційного зондування для різних програм моніторингу.

Дослідниками Edoardo A.C. Costantini, Giovanni L'Abate та ін. розроблено карту ґрунтів Італії [13]. Ґрунтова карта показує розподіл основних ґрунтів по країні. Дослідження спрямовано на розробку методології для створення нового атласу ризику опустелювання в Італії. Основним джерелом інформації була база геоданих ґрунтової системи Італії, що містить інформацію про типологічні одиниці та ландшафти з ґрунтами в еталонному масштабі 1:500 000.

Оцінка опустелювання в Еритреї [14] здійснено з використанням даних Landsat за період з 1970-х років до 2014 р. Для оцінки застосовано метод дерева рішень,

заснований на нормалізованому різницевому індексі вегетації (NDVI), ґрунтовокоригованому індексі рослинності (SAVI) та відсотку рослинного покриву для кількісної оцінки та аналізу опустелювання.

Визначення тенденцій опустелювання на півночі Ефіопії [15] були визначені шляхом застосування нормалізованого індексу різниці рослинності (NDVI), індексу розміру зерна верхнього шару ґрунту (TGSI) та індексу концентрації опадів (PCI), що розраховані на основі зображень Landsat та метеорологічних даних з 1990 по 2018 рр. Для оцінки темпів опустелювання використовувався метод дерева рішень, що базувався на даних Landsat 5 TM+ і Landsat 8 OLI за 1990, 1995, 2000, 2008, 2014 і 2018 рр.

Вивченню впливу неоднорідності ґрунтового покриву, зокрема кількості різних видів рослинності в межах групи пікселів, на відновлення вологості ґрунту за допомогою активних мікрохвильових даних дистанційного зондування присвячено дослідження [16]. Основна ціль полягала в з'ясуванні, як різноманітність рослинного покриву впливає на точність визначення вологості ґрунту з використанням мікрохвильових даних. У цьому дослідженні висвітлюється важливість моніторингу динаміки вологості ґрунту від локального до глобального масштабів. Увагу зосереджено на розширенні сфери дистанційного зондування вологості ґрунту, завдяки запуску спеціалізованих супутникових місій (наприклад, SMOS, SMAP) та нових місій, як-от SENTINEL-1, які забезпечують можливості довгострокового моніторингу поверхні суші.

У своєму дослідженні Peng J. та Loew A. [17] узагальнили останні досягнення у визначенні вологості ґрунту через дистанційне зондування. Проведено оцінку використання різних алгоритмів для пошуку, перевірки та застосування супутникових продуктів вологості ґрунту й розглянуто методику оцінки вологості ґрунту, зокрема за допомогою мікрохвильового дистанційного зондування та теплової інфрачервоної інформації. Також окреслено складність перевірки супутникових продуктів зволоження ґрунту через різні просторові масштаби вимірювань на місці та супутникових даних.

Визначенню ефективності індикаторів опустелювання, якими є зміни в землекористуванні та сільськогосподарських угіддях, які можна легко ідентифікувати за допомогою супутникових знімків присвячено дослідження Albalawi E.K. та Kumar L., в якому також проаналізовано використання дистанційного зондування та ГІС для моніторингу опустелювання в усьому світі [18].

У дослідженні Ghosh A., Rakshit S., Tikle S. та ін. [19] методи ГІС і дистанційного зондування були інтегровані з переглянутою моделлю універсального рівняння втрати ґрунту (RUSLE) для оцінки втрати ґрунту в басейні р. Маюракші Східної Індії. Для визначення районів, схильних до ерозії ґрунту, використовувалися карти кількості опадів, землекористування та ґрунтового покриву, а також цифрова модель рельєфу (ЦМР). Застосування ГІС, в яку інтегровано модель універсального рівняння втрати ґрунту (RUSLE) і ДЗЗ, уможливлює здійснення оцінки втрати ґрунту внаслідок ерозії, для визначення районів, схильних до ерозії ґрунту.

Для аналізу змін землекористування та земельного покриву (LULC) в оазисі Тернат (Марокко) за останні тридцять років були використані часові ряди Landsat із 10-річними інтервалами з 1991 по 2021 рр. [20]. Для цього застосовувалися методи класифікації максимальної правдоподібності (MLC) та нормалізований різницевий вегетаційний індекс (NDVI). Карти MLC були розділені на п'ять класів LULC: оброблена земля, опустелена земля, безплідна земля, забудована територія та водойми. Карти NDVI класифікувалися на два класи: оброблені та необроблені землі.

У рамках створення карти ерозії, посухи та опустелювання Республіки Північна Македонія національного рівня, включено карту інтенсивності ерозії, карту втрати ґрунту за методологією RUSLE, карту посушливості (індекс посушливості розрахо-

вувався за допомогою двох методів: підходу ЮНЕП і BGI — Bagnouls-Gaussen index), карту вразливості до посухи та розмежування регіону, сприйнятливого до опустелювання [21]. Моделювання проводилося в ГІС-середовищі на основі офіційної національної бази даних, що включала інформацію про ґрунт, геологію, ґрунтовий покрив/використання та кліматичні карти.

У дослідженні просторових та часових тенденцій чутливості до опустелювання земель у провінції Нінь Тхуан, В'єтнам, використовувався індекс чутливості до опустелювання (DSI), розрахований для 1996, 2005, 2010 та 2016 рр. на основі моделі Medalus із застосуванням 10 кількісних параметрів, що включали якість ґрунту, клімат та рослинність [22]. У результаті картографування опустелювання з використанням ГІС-технологій виділено чутливі зони, пов'язані з п'ятьма класами DSI.

Під час геопросторового аналізу вразливості ґрунтів Греції до опустелювання [23] дослідниками використано індекс екологічно чутливих територій (ESAI), що застосовується для оцінки сприйнятливості територій до опустелювання. Цей індекс аналізує різні параметри, які важливі для здоров'я навколишнього середовища, як-от людська діяльність, геологія, якість ґрунту, рослинність і кліматичні моделі. Для ретельного дослідження кожен із цих чинників отримує вагу, що дає змогу визначити рівень вразливості до опустелювання.

Також уваги заслуговують останні винаходи в галузі оцінки екологічного ризику та систем моніторингу опустелювання та стану ґрунтів.

Патенти [24; 25] описують методи оцінки екологічного ризику та системи раннього попередження, які базуються на різних модулях обробки даних, включаючи обробку зображень дистанційного зондування, розрахунок індексів ризику та динамічний моніторинг. Методи, описані у цих патентах, використовують спеціалізовані модулі для попередньої обробки даних та розрахунку екологічного ризику, що дає можливість отримувати більш точні та науково обґрунтовані результати. Крім того, вони містять системи раннього попередження та підтримки прийняття рішень, які забезпечують аналіз змін індексів та налаштування порогів, що дає змогу оперативно реагувати на потенційні загрози опустелювання. Тому, ці винаходи не лише забезпечують здійснення моніторингу та раннє виявлення можливих загроз, але і надають інструменти для належного управління екологічними ризиками й забезпечення ефективної системи раннього попередження.

Метод моніторингу ефективності заходів проти кам'янистого опустелювання на основі багатьох джерел ДЗЗ запропоновано Feng H. із співав. [26]. Зокрема, цей метод оцінює зміни в рослинному покриві та індексі листяної площі перед та після застосування заходів проти опустелювання та формує систему оцінки ефективності цих заходів. Перевагою даного методу є можливість систематичного та комплексного моніторингу ефективності заходів проти опустелювання, що дає можливість забезпечити науково обґрунтовану оцінку їхньої ефективності.

Система моніторингу опустелювання, сконцентрована на виявленні та відстеженні процесу опустелювання земель із використанням технологій аерокосмічного та авіаційного зондування для збору інформації про електромагнітні хвилі, що випромінюються або відбиваються від цілей, далеких від спостерігача, запропонована Weng K. [27]. Ця система дає змогу вчасно та точно простежити процеси опустелювання земель, зрозуміти його динаміку та механізми, що лежать у його основі, надаючи підґрунтя для прийняття рішень щодо боротьби з опустелюванням.

Українські вчені, як-от В. Лялько, О. Апостолов, Л. Єлістратова, та В. Романчук, працюють над розробкою методів виявлення осередків опустелювання за даними супутникового моніторингу довкілля [28]. Наприклад, у дослідженні О.А. Апостолова, Л.О. Єлістратової, В.Ф. Романчука та В.М. Чехнія (2020 р.) були розроблені методичні підходи до визначення вологозабезпеченості території за даними дистанційного зондування з ви-

користанням розрахунків водних індексів [29]. Ці підходи базуються на умовах сучасного глобального та регіонального потепління та можуть бути також застосовані у моніторингу процесів опустелювання для оцінки вологозабезпечення піддослідного полігону, як одного з параметрів.

У роботі О.Г. Тараріко, О.В. Сиротенко, Т.В. Ільєнко й Т.Л. Кучма, розглянуто науково-методичні засади, зміст та завдання супутникового агроекологічного моніторингу, проаналізовано діючі системи супутникового знімання у світі, режим та умови дистанційного моніторингу об'єктів агроландшафтів [30]. Зокрема, удосконалено класифікацію деградаційних процесів в агроландшафтах, результати визначення стану посівів, умов вологозабезпечення та просторового розповсюдження кризових посушливих явищ, а також прогнозування впливу змін клімату на продуктивність і валові збори зернових культур за супутниковими даними і запропоновано удосконалену класифікацію, яка базується на використанні фізико-технологічних можливостей та принципів роботи засобів ДЗЗ, визначених спектральних характеристиках фізичних об'єктів, ґрунтів, та рослинного покриву залежно від їх стану.

За відбивною здатністю та кольором ґрунтів можливо розпізнавати такі їх властивості, як хімічний склад, зволоженість, текстуру, вміст органічної речовини. В ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» досить успішно розвиваються роботи з моніторингу різноманітних характеристик ґрунту за даними ДЗЗ [31].

У дослідженнях О.Г. Тараріко зі співавт. (2021) проаналізовано стан агроландшафтів України й основні процеси деградації ґрунтів, зокрема водну та вітрову ерозію [32]. Застосовано супутникові дані для аналізу поширення пилових бур у зоні Полісся. За результатами виявлено збільшення ризику водної та вітрової ерозії через зміни клімату та сучасну сільськогосподарську діяльність.

Особливості візуального декодування водної ерозії за допомогою даних дистанційного зондування висвітлено в дослідженнях А.Б. Ачасова і А.О. Ачасової [33]. Ними використано різні методи, як-от аналіз даних дистанційного зондування, польові дослідження та географічний аналіз. Основна увага у статті приділена особливостям візуального декодування лінійних форм ерозії. Зроблено порівняльний аналіз аерофотознімків 1943 р. та сучасних супутникових зображень для регіону Харкова. У статті наведено перелік ознак, що визначають лінійні форми ерозії на зображеннях, а також виявлено проблеми, які можуть виникати під час автоматичного декодування.

Патенти, спрямовані на вивчення процесів, пов'язаних з опустелюванням, та використанні ДДЗ можуть бути застосовані в процесі здійснення моніторингу деградаційних процесів ґрунту.

Пристрій для вивчення дефляції ґрунтів [34] призначений для вимірювання вітрової ерозії ґрунту та може бути використаним для верифікації результатів отриманих шляхом засобів дистанційного моніторингу.

Спосіб виявлення втрат ґрунту внаслідок водної ерозії [35] використовує фотографічне визначення площі поперечного профілю промоїни та наземний вимір її довжини для встановлення об'єму змитого ґрунту. Сутність полягає в створенні цифрової моделі мікрорельєфу для оцінки об'єму змитого ґрунту та має важливе значення для моніторингу явищ водної ерозії як одного з взаємопов'язаних чинників процесу опустелювання.

ВИСНОВКИ

Дистанційне зондування відіграє важливу роль у моніторингу та оцінці процесів опустелювання агроекосистем та деградації земель завдяки своїй відносно низькій вартості, можливості охоплення великих територій та використання різноманітних датчиків і методів аналізу даних. Воно дає змогу виявляти зміни у рослинному покриві, ґрунтах, землекористуванні, а також явища посухи, ерозії ґрунтів, урбанізації, що є ключовими індикаторами опустелювання.

Частота використання різних супутникових систем для вивчення опустелювання за останні 35 років значною мірою залежить від тривалості збору даних, роздільної здатності, доступності даних та спектральних можливостей [3]. Найчастіше використовуються дані з Landsat TM, який працював з 1984 по 2012 рр., та інших версій Landsat (ETM+ та OLI). Вони забезпечують високу роздільну здатність (30 м) і мають широкий вільний доступ до даних, що робить їх поширеними для досліджень.

MODIS також повсюдно використовується завдяки високій частоті знімання (до двох разів на день) і роздільній здатності від 250 до 1000 м, що дає можливість швидко оновлювати дані. Дані NOAA/AVHRR, хоча й мають нижчу роздільну здатність (1 км), також використовуються часто завдяки довготривалому архіву, який дає змогу аналізувати зміни впродовж десятиліть.

Менше застосовуються дані з систем SPOT, Hyperion та Sentinel через комерційні обмеження, меншу площу покриття або відносну новизну програм. Аерофотозйомка використовується рідко через високу вартість та обмежену доступність. Тому, перевага надається тим системам, які пропонують тривалий період спостережень, високу роздільну здатність і легкий доступ до даних, що робить їх більш придатними для вивчення опустелювання.

Найпоширенішими методами дослідження опустелювання за допомогою дистанційного зондування протягом останніх 35 років є класифікація та виявлення змін [3]. Це пов'язано з їхньою здатністю чітко ідентифікувати типи земельного покриття та відстежувати динаміку опустелювання. Також широко застосовуються статистичні методи та інші методи просторового аналізу, які дають можливість обробляти великі обсяги даних і виявляти просторові закономірності та залежності. Методи аналізу тенденцій та часових рядів використовуються для вивчення довгострокових змін і прогнозування майбутніх сценаріїв опустелювання. Аналіз рослинності допомагає оцінити стан рослинного покриву, що є важливим індикатором опустелювання. Оцінка частоти виникнення застосовується для розуміння ризиків у певних регіонах. Спектральний аналіз використовується рідше через його складність, але він дає змогу виявляти різні характеристики земельного покриття, що може бути корисним для спеціалізованих досліджень.

Поєднання оптичних, мультиспектральних даних дистанційного зондування з активними датчиками, як-от LIDAR та РАДАР, наземними спостереженнями та моделюванням відкриває високий потенціал для розробки комплексних методологій моніторингу деградації агроландшафтів.

Дослідження демонструють ефективність інтегрованого підходу із залученням геоінформаційних систем, супутникових даних, аналізу екологічних показників та математичних моделей опустелювання, адаптованих до регіональних особливостей.

Застосування моделей, таких як MEDALUS, дерева рішень на основі NDVI, індексів посухи, ерозії ґрунтів, а також використання ГІС-інструментів для картографування та аналізу часових змін забезпечує точнішу оцінку чутливості регіонів до опустелювання. Зокрема, було успішно визначено рівень деградації у різних країнах, зонах (Іран, Єгипет, Середземномор'я та ін.).

Вчені в Україні також активно працюють над розвитком методів супутникового моніторингу агроландшафтів, класифікації елементів ландшафту, оцінки деградаційних процесів ґрунту, зокрема з використанням водних індексів, нейронних мереж, інтеграції даних ДЗЗ та ГІС.

До того ж залишаються актуальними питання вдосконалення методів інтеграції різних типів даних ДЗЗ, верифікації та валідації, поєднання супутникових вимірювань із наземними спостереженнями та моделями для кращого розуміння динаміки процесів на різних масштабах.

Важливими напрямами подальших досліджень є: адаптація існуючих моделей та індексів до специфічних регіональних умов, розробка нових уніфікованих індек-

сів, а також методів прогнозування впливу кліматичних змін на опустелювання агроекосистем із застосуванням ДЗЗ, поглиблення міжнародної співпраці в обміні даними та досвідом. Окремо слід відзначити необхідність вдосконалення методик дистанційного зондування для своєчасної та точної оцінки процесів деградації земель та розширювати напрацювання на регіональному й національному рівнях задля вжиття відповідних заходів зі стримування цих негативних явищ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про затвердження Загальнодержавної програми боротьби з опустелюванням та деградацією ґрунтів: Закон України від 22.06.2022 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/61-IV#Text.
2. Конвенція Організації Об'єднаних Націй про боротьбу з опустелюванням у тих країнах, що потерпають від серйозної посухи та/або опустелювання, особливо в Африці від 17.06.1994 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_120#Text.
3. Rivera-Marin D., Dash J. and Ogutu B. The use of remote sensing for desertification studies: A review. *Journal of Arid Environments*. 2022. Vol. 206. 104829. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104829.
4. Farajzadeh M. and Nik Egbal M. Evaluation of MEDALUS Model for Desertification Hazard Zonation Using GIS; Study Area: Iyzad Khast Plain, Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2007. Vol. 10. P. 2622–2630. DOI: https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.2622.2630.
5. Ali R. and Baroudy A.A. Use of GIS in Mapping the Environmental Sensitivity to Desertification in Wadi El Natrun Depression, Egypt. *Australian Journal of Basic and Applied sciences*. 2008. Vol. 2. P. 157–164.
6. Benabderrahmane M.C. and Chenchouni H. Assessing Environmental Sensitivity Areas to Desertification in Eastern Algeria using Mediter-ranean Desertification and Land Use «MEDALUS» Model. *International Journal of Sustainable Water and Environmental Systems*. 2010. Vol. 1. P. 5–10. DOI: https://doi.org/10.5383/swes.01.01.002.
7. Al-Khuzaie M.M., Elnaggar A., El-Mewafi M. et al. Assessments of Environmental Sensitivity to Desertification in North Sinai, Egypt Using Remote Sensing and GIS Techniques. *International Journal of Scientific and Engineering Research*. 2015. Vol. 6. P. 799–806.
8. Ismael H. Evaluation Of Present-Day Climate-Induced Desertification In El-Dakhla Oasis, Western Desert Of Egypt, Based On Integration Of MEDALUS Method, GIS And RS Techniques. *Present Environment and Sustainable Development*. 2015. Vol. 9. P. 47–72. DOI: https://doi.org/10.1515/pesd-2015-0024.
9. Franklin S.E. Remote Sensing for Sustainable Forest Management (1st ed.). CRC Press. 2001. DOI: https://doi.org/10.1201/9781420032857.
10. URL: https://www.isric.org/projects/global-assessment-human-induced-soil-degradation-glasod.
11. Salvati L., Bajocco S., Ferrara A. et al. Desertification Risk, Long-Term Land-Use Changes and Environmental Resilience: A Case Study in Basilicata, Italy. *Scottish Geographical Journal*. Vol. 129. P. 85–99. DOI: https://doi.org/10.1080/14702541.2013.781209.
12. Romero-Sanchez M.E., Gonzalez-Hernandez A. and Moreno-Sanchez F. The Assessment of Land Degradation and Desertification in Mexico: Mapping Regional Trend Indicators with Satellite Data. *Land Degradation and Desertification: a Global Crisis*. 2016. P. 3–27. DOI: https://doi.org/10.5772/64241.
13. Costantini E.A.C., L'Abate G., Barbetti R. et al. The soil province geodatabase of Italy, storing information of soil typological units and broad soil regions at the 1:1,000,000 and 1:10,000,000 scales. *Geoderma. Zenodo*. 2022. Vol. 271. P. 243–253. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7072306.
14. Ghebrezgabher M.G., Yang T., Yang X. and Wang C. Assessment of desertification in Eritrea: land degradation based on Landsat images. *Journal of Arid Land*. 2019. Vol. 11. P. 319–331. DOI: https://doi.org/10.1007/s40333-019-0096-4.
15. Gebru B., Lee W.-K., Khamzina A. et al. Spatiotemporal multi-index analysis of desertification in dry Afromontane forests of northern Ethiopia. *Environment, Development and Sustainability*. 2021. Vol. 23. P. 423–450. DOI: https://doi.org/10.1007/s10668-020-00587-3.
16. Lakhankar T., Ghedira H., Temimi M. et al. Effect of Land Cover Heterogeneity on Soil Moisture Retrieval Using Active Microwave Remote Sensing Data. *Remote Sensing*. 2009. Vol. 1. P. 80–91. DOI: https://doi.org/10.3390/rs1020080.
17. Peng J. and Loew A. Recent Advances in Soil Moisture Estimation from Remote Sensing. *Water*. 2017. Vol. 9. P. 530. DOI: https://doi.org/10.3390/w9070530.
18. Albalawi E.K. and Kumar L. Using remote sensing technology to detect, model and map desertification: A review. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 2013. Vol. 11. P. 791–797.
19. Ghosh A., Rakshit S., Tikle S. et al. Integration of GIS and Remote Sensing with RUSLE Model for Estimation of Soil Erosion. *Land*. 2022. Vol. 12 (1). P. 116. DOI: https://doi.org/10.3390/land12010116.
20. Moumane A., Al Karkouri J., Benmansour A. et al. Monitoring long-term land use, land cover change, and desertification in the Ternata oasis, Middle Draa Valley, Morocco. *Remote Sensing Applications Society and Environment*. 2022. Vol. 26. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100745.
21. Blinkov I., Trendafilov A., Muaketov D. et al. Atlas on Erosion, Drought and Desertification of the Re-

public of North Macedonia. 2023. DOI: https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26208.05120.
22. Nguyen B.T., Dinh G.D. and Le L.B. Spatial and temporal-trend assessment of desertification-sensitive land using the desertification sensitivity index in the provincial Ninh Thuan, Vietnam. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2024. Vol. 196. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-024-12707-x.
23. Kalogeropoulos K., Tsesmelis D.E., Tsatsaris A. et al. Geospatial Insights into Greece's Desertification Vulnerability: A Composite Indicator Approach. *GeoHazards*. 2024. Vol. 5 (2). P. 374–392. DOI: https://doi.org/10.3390/geohazards5020020.
24. Yang B., Wang S., Wang C. et al. Desertification hazard early warning method: Patent CN109166295A; 2019.
25. Wu L., Sun S. and Fan L. Ecological risk assessment method and early warning system based on ecological protection red line demarcation: Patent CN117522117A; 2024.
26. Feng H., Ye S., Xie L. et al. Stony desertification control effect multi-index monitoring and evaluating method based on multi-source remote sensing data: Patent CN110553980; 2019.
27. Weng K. Desertification monitor system: Patent CN109359165A; 2019.
28. Лялько В.І., Єлістратова Л.О., Апостолов О.А., Чехній В.М. Аналіз ґрунтово-ерозійних процесів в Україні на основі застосування даних дистанційного зондування Землі. *Вісник Національної академії наук України*. 2017. № 10. С. 34–41.
29. Апостолов О.А., Єлістратова Л.О., Романчук І.Ф., Чехній В.М. Виявлення осередків опустелювання в Україні на основі розрахунків водних індексів за даними дистанційного зондування Землі. *Український географічний журнал*. 2020. № 1. С. 16–25. DOI: https://doi.org/10.15407/ugz2020.01.016.
30. Тараріко О.Г., Сиротенко О.В., Ільєнко Т.В., Кучма Т.Л. Агроекологічний супутниковий моніторинг. Київ: Аграрна наука, 2019. 204 с.
31. Truskavetsky S., Byndych T., Sherstyuk A. et al. Studying the condition of soil protection agro-landscape in Ukraine using remote sensing methods. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2015. Vol. 5 (4). P. 235–240.
32. Тараріко О.Г., Ільєнко Т.В., Кучма Т.Л. та ін. Ерозія ґрунтів як чинник опустелювання агроландшафтів України. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 3. С. 6–16. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2021.240316.
33. Ачасов А.Б., Ачасова А.О. Особливості візуального дешифрування проявів водної ерозії за даними дистанційного зондування. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2020. № 33. С. 145–154. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2020-33-13.
34. Тараріко О.Г., Зубов А.О., Зубов О.Р. Пристрій для вивчення дефляції ґрунтів: Пат. UA136545U; 2019.
35. Ачасов А.Б., Ачасова А.О., Селіверстов О.Ю. та ін. Спосіб визначення втрат ґрунту внаслідок водної ерозії: Пат. UA149430U; 2021.

REFERENCES

1. Pro zatverdzhennia Zahalnoderzhavnoi prohramy borotby z opusteliuvanniam ta dehradatsiieiu gruntiv: Zakon Ukrainy vid 22.06.2022 [On approval of the National Program for Combating Desertification and Soil Degradation: Law of Ukraine dated June 22, 2022]. (2022). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/61-IV#Text [in Ukrainian].
2. Konventsiia Orhanizatsii Obiednanykh Natsii pro borotbu z opusteliuvanniam u tykh krainakh, shcho poterpauit vid seryoznoi posukhy ta/abo opusteliuvannia, osoblyvo v Afrytsi vid 17.06.1994 r. [United Nations Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa dated June 17, 1994]. (1994). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_120#Text [in Ukrainian].
3. Rivera-Marin, D., Dash, J. & Ogutu, B. (2022). The use of remote sensing for desertification studies: A review. *Journal of Arid Environments. 206*. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104829 [in English].
4. Farajzadeh, M. & Nik Egbal, M. (2007). Evaluation of MEDALUS Model for Desertification Hazard Zonation Using GIS; Study Area: Iyzad Khast Plain, Iran. Pakistan. *Journal of Biological Sciences, 10*, 2622–2630. DOI: https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.2622.2630 [in English].
5. Ali, R. & Baroudy, A.E. (2008). Use of GIS in Mapping the Environmental Sensitivity to Desertification in Wadi El Natrun Depression, Egypt. *Australian Journal of Basic and Applied sciences, 2*, 157–164 [in English].
6. Benabderrahmane, M.C. & Chenchouni, H. (2010). Assessing Environmental Sensitivity Areas to Desertification in Eastern Algeria using Mediterranean Desertification and Land Use «MEDALUS» Model. *International Journal of Sustainable Water and Environmental Systems, 1*, 5–10. DOI: https://doi.org/10.5383/swes.01.01.002 [in English].
7. Al-Khuzaie, M.M., Elnaggar, A., El-Mewafi, M. et al. (2015). Assessments of Environmental Sensitivity to Desertification in North Sinai, Egypt Using Remote Sensing and GIS Techniques. *International Journal of Scientific and Engineering Research, 6*, 799–806 [in English].
8. Ismael, H. (2015). Evaluation Of Present-Day Climate-Induced Desertification In El-Dakhla Oasis, Western Desert Of Egypt, Based On Integration Of MEDALUS Method, GIS And RS Techniques. *Present Environment and Sustainable Development, 9*. DOI: https://doi.org/10.1515/pesd-2015-0024 [in English].
9. Franklin, S.E. (2001). Remote Sensing for Sustainable Forest Management (1st ed.). CRC Press. DOI: https://doi.org/10.1201/9781420032857 [in English].
10. URL: https://www.isric.org/projects/global-assessment-human-induced-soil-degradation-glasod

11. Salvati, L., Bajocco, S., Ferrara, A. et al. (2013). Desertification Risk, Long-Term Land-Use Changes and Environmental Resilience: A Case Study in Basilicata, Italy. *Scottish Geographical Journal, 129*, 85–99. DOI: https://doi.org/10.1080/14702541.2013.781209 [in English].
12. Romero-Sanchez, M.E., Gonzalez-Hernandez, A. & Moreno-Sanchez, F. (2016). The Assessment of Land Degradation and Desertification in Mexico: Mapping Regional Trend Indicators with Satellite Data. *Land Degradation and Desertification: a Global Crisis*, 3–27. DOI: https://doi.org/10.5772/64241 [in English].
13. Costantini, E.A.C., L'Abate, G., Barbetti, R. et al. (2022). The soil province geodatabase of Italy, storing information of soil typological units and broad soil regions at the 1:1,000,000 and 1:10,000,000 scales [Data set]. *Geoderma, Zenodo, 271*, 243–253. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7072306 [in English].
14. Ghebrezgabher, M.G., Yang, T., Yang, X. & Wang, C. (2019). Assessment of desertification in Eritrea: land degradation based on Landsat images. *Journal of Arid Land, 11*, 319–331. DOI: https://doi.org/10.1007/s40333-019-0096-4 [in English].
15. Gebru, B., Lee, W.-K., Khamzina, A. et al. (2021). Spatiotemporal multi-index analysis of desertification in dry Afromontane forests of northern Ethiopia. *Environment, Development and Sustainability, 23*, 423–450. DOI: https://doi.org/10.1007/s10668-020-00587-3 [in English].
16. Lakhankar, T., Ghedira, H., Temimi, M. et al. (2009). Effect of Land Cover Heterogeneity on Soil Moisture Retrieval Using Active Microwave Remote Sensing Data. *Remote Sensing, 1*, 80–91. DOI: https://doi.org/10.3390/rs1020080 [in English].
17. Peng, J. & Loew, A. (2017). Recent Advances in Soil Moisture Estimation from Remote Sensing. *Water, 9*, 530. DOI: https://doi.org/10.3390/w9070530 [in English].
18. Albalawi, E.K. & Kumar, L. (2013). Using remote sensing technology to detect, model and map desertification: A review. Armidale, Australia. *Journal of Food, Agriculture and Environment, 11*, 791–797 [in English].
19. Ghosh, A., Rakshit, S., Tikle, S. et al. (2022). Integration of GIS and Remote Sensing with RUSLE Model for Estimation of Soil Erosion. *Land, 12 (1)*, 116. DOI: https://doi.org/10.3390/land12010116 [in English].
20. Moumane, A., Al Karkouri, J., Benmansour, A. et al. (2022). Monitoring long-term land use, land cover change, and desertification in the Ternata oasis, Middle Draa Valley, Morocco. *Remote Sensing Applications Society and Environment, 26*. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100745 [in English].
21. Blinkov, I., Trendafilov, A., Muaketov, D. et al. (2023). Atlas on Erosion, Drought and Desertification of the Republic of North Macedonia. DOI: https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26208.05120 [in English].
22. Nguyen, B., Dai, G.D. & Le, L.B. (2024). Spatial and temporal-trend assessment of desertification-sensitive land using the desertification sensitivity index in the provincial Ninh Thuan, Vietnam. *Environmental Monitoring and Assessment, 196*. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-024-12707-x [in English].
23. Kalogeropoulos, K., Tsesmelis, D.E., Tsatsaris, A. et al. (2024). Geospatial Insights into Greece's Desertification Vulnerability: A Composite Indicator Approach. *GeoHazards, 5 (2)*, 374–392. DOI: https://doi.org/10.3390/geohazards5020020 [in English].
24. Yang, B., Wang, S., Wang, C. et al. (2019). Desertification hazard early warning method: Patent CN109166295A [in English].
25. Wu, L., Sun, S. & Fan, L. (2024). Ecological risk assessment method and early warning system based on ecological protection red line demarcation: Patent CN117522117A [in English].
26. Feng, H., Ye, S., Xie, L. et al. (2019). Stony desertification control effect multi-index monitoring and evaluating method based on multi-source remote sensing data: Patent CN110553980 [in English].
27. Weng, K. (2019). Desertification monitor system: Patent CN109359165A [in English].
28. Lialko, V.I., Yelistratova, L.O., Apostolov, O.A. & Chekhnii, V.M. (2017). Analiz gruntovo-eroziinykh protsesiv v Ukraini na osnovi zastosuvannia danykh dystantsiinoho zonduvannia Zemli [Analysis of soil erosion processes in Ukraine based on the application of remote sensing data]. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy — Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine, 10*, 34–41 [in Ukrainian].
29. Apostolov, O.A., Yelistratova, L.O., Romanchuk, I.F. & Chekhnii, V.M. (2020). Vyiavlennia oseredkiv opusteliuvannia v Ukraini na osnovi rozrakhunkiv vodnykh indeksiv za danymy dystantsiinoho zonduvannia Zemli [Detection of desertification hotspots in Ukraine based on calculations of water indices from remote sensing data]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal — Ukrainian Geographical Journal, 1*, 16–25. DOI: https://doi.org/10.15407/ugz2020.01.016 [in Ukrainian].
30. Tarariko, O.H., Syrotenko, O.V., Ilienko, T.V. & Kuchma, T.L. (2019). *Ahroekolohichnyi suputnykovyi monitorynh [Agroecological satellite monitoring]*. Kyiv [in Ukrainian].
31. Truskavetsky, S., Byndych, T., Sherstyuk, A. et al. (2015). Studying the condition of soil protection agrolandscape in Ukraine using remote sensing methods. *Journal of Agricultural Science and Technology, 5 (4)*, 235–240 [in English].
32. Tarariko, O.H., Ilienko, T.V., Kuchma, T.L. et al. (2021). Eroziia gruntiv yak chynnyk opusteliuvannia ahrolandshaftiv Ukrainy [Soil erosion as a factor of desertification of agricultural landscapes in Ukraine]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal, 3*, 6–16. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2021.240316 [in Ukrainian].
33. Achasov, A.B. & Achasova, A.O. (2020). Osoblyvosti vizualnoho deshyfruvannia proiaviv vodnoi erozii za danymy dystantsiinoho zonduvannia [Features of visual interpretation of water erosion manifestations based on remote sensing data]. *Liudyna ta dovkillia. Problemy neoekolohii — Human and Environment. Issues of Neoecology, 33*, 145–154. DOI: https://doi.

org/10.26565/1992-4224-2020-33-13 [in Ukrainian].
34. Tarariko, O.H., Zubov, A.O. & Zubov, O.R. (2019). Prystrii dlia vyvchen nia defliatsii gruntiv: Patent UA136545U [Device for studying soil deflation: Patent UA136545U] [in Ukrainian].
35. Achasov, A.B., Achasova, A.O., Seliverstov, O.Yu. et al. (2021). Sposib vyznachennia vtrat gruntu vnaslidok vodnoi erozii: Patent UA149430U [Method for determining soil losses due to water erosion: Patent UA149430U] [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 27.05.2024

УДК 528.46:711.14 DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311184

СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ СОСНОВОГО ЛІСУ, УРАЖЕНОГО ВЕРХІВКОВИМ КОРОЇДОМ

Т.В. Ільєнко, Д.М. Шерстюк

Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: tilienko@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5406-5449
e-mail: volaf666@gmail.com; ORCID: 0009-0001-1687-5974

Висвітлено методичні підходи до виявлення уражених лісових ділянок на прикладі аналізу причин загибелі соснового масиву Острівського лісництва ДП «Вищедубечанський лісгосп» Київської обл. У статті представлено можливості застосування супутникових даних для спостережень за станом лісових масивів. Для виявлення причини загибелі масиву сосни було проведено супутникове та наземне спостереження. Використовуючи супутникові знімки Airbus та Sentinel-2, було проаналізовано динаміку зміни стану сосон упродовж п'яти років (2017–2022 рр.). Визначено зв'язок стану соснових насаджень з їх спектральними характеристиками, зокрема з нормалізованим диференційним вегетаційним індексом NDVI та нормалізованим диференційним індексом вологості NDMI за даними супутника Sentinel-2, які були отримані із сайту сервісу Європейського космічного агентства Sentinel Hub EO Browser. Результати дослідження підтвердили повне ураження соснового масиву внаслідок діяльності жука — верхівкового короїда, а також визначено площу ураження. Виявлено можливі причини спалаху поширення верхівкового короїда в лісових екосистемах Київської обл., зокрема підвищення температури та зниження кількості опадів, що призвело до ослаблення соснових насаджень. Розглянуто методичні підходи до виявлення уражених масивів сосни. Показано, що для автоматичного дешифрування пошкоджених масивів насаджень доцільно комплексне застосування вегетаційних індексів NDVI та NDMI, що дає можливість виявляти уражені ділянки на ранніх стадіях за зміною спектральних характеристик крон дерев та вмісту вологи в рослинності. Наведено результати моніторингу санітарних і відновлювальних заходів для цього масиву соснових насаджень. Використання супутникових даних для моніторингу лісових екосистем є ключовим інструментом для визначення проблемних ділянок на ранніх стадіях, розробки стратегій боротьби зі шкідниками та мінімізації негативних наслідків.

Ключові слова: *голонасінні дерева, вегетаційний індекс, вміст вологи, Sentinel-2, спектральні характеристики, шкідники, санітарні та відновлювальні заходи.*

ВСТУП

Сучасні екосистеми постійно стикаються з різноманітними загрозами, зокрема поширенням шкідників, що спричиняє значні пошкодження лісовим масивам. Верхівковий короїд (*Dendroctonus* spp.) вважається одним з найбільш шкідливих жуків-короїдів, який уражає соснові дерева, що викликає серйозні наслідки для лісових екосистем. Щороку від хвороб і шкідників у світі потерпають близько 35 млн га лісів. Половина з них пошкоджена короїдами. В Україні також спостерігається масове висихання хвойних лісів, пов'язано зі зміною клімату, зокрема глобальним потеплінням. Підвищення температури повітря та зменшення кількості атмосферних опадів є причиною зниження рівня ґрунтових вод, що сприяє ослабленню дерев, і вони втрачають опір до заселення шкідливими комахами та ураження збудникам хвороб. В цих умовах актуальним є розробка сучасних методів виявлення поширення кризових явищ, зокрема ураження шкідниками лісів, їх моніторингу, та визначення площ пошкоджених масивів.

Моніторинг стану лісових масивів та оцінка поширення верхівкового короїда є надзвичайно важливим завданням для розуміння та контролю негативного впливу цього шкідника на лісові екосистеми. Для

© Т.В. Ільєнко, Д.М. Шерстюк, 2024

ефективного управління та захисту лісових ресурсів необхідно мати достовірну та об'єктивну інформацію про стан уражених масивів. Останніми роками з'явилися нові можливості для моніторингу лісових екосистем за допомогою супутникових даних, що надають змогу отримати об'єктивну інформацію про зміни в лісовому покриві та ідентифікувати пошкодження, спричинені шкідниками та хворобами [1–7]. Застосування супутникових знімків дає можливість вивчати динаміку зміни стану лісових екосистем на великій території та в різних часових масштабах. Тому, супутникова інформація здобуває дедалі більшу популярність як ефективний інструмент для моніторингу та аналізу змін у лісових покривах.

Мета статті — розробка методичних підходів до виявлення уражених лісових масивів із використанням супутникових даних на прикладі аналізу причин загибелі соснового масиву в Острівському лісництві Вищедубечанського лісового господарства Київської обл., визначення можливості застосування супутникових знімків Airbus і Sentinel-2, вегетаційних індексів NDVI та NDMI для моніторингу стану соснових насаджень, виявлення уражених ділянок на ранніх стадіях, аналізу динаміки їх ураження та оцінки ефективності санітарних і відновлювальних заходів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Останні дослідження в галузі моніторингу лісових екосистем, зокрема використання супутникових даних для виявлення та аналізу уражень верхівковим короїдом, надають важливі висновки та рекомендації, які сприяють розумінню цього проблемного явища. Дистанційне зондування доповнює польові дані та полегшує прогнозування, необхідне для управління лісами, забезпечуючи просторові та часові спостереження характеристик лісу в ландшафтному й регіональному масштабах. Статистичні моделі та моделі машинного навчання, отримані на основі польових спостережень на рівні ділянки, можна екстраполювати на більші території за допомогою даних дистанційного зондування. Набори даних мультиспектральних зображень і радарів із синтезованою апертурою (SAR), отриманих із супутникових платформ, можна використовувати для екстраполяції моделей лісових ресурсів на великі регіони [1]. Наступний аналіз деяких останніх досліджень у цій області допомагає з'ясувати поточний стан знань та ідентифікувати важливі аспекти, що впливають на моніторинг та управління верхівковим короїдом у соснових масивах.

Одне з досліджень, проведених Gomez et al. (2020), аналізувало використання супутникових даних для визначення поширення верхівкового короїда в соснових лісах на території ландшафту південно-східного регіону США. Вони оцінили здатність вегетаційних індексних продуктів часових рядів MODIS та Sentinel-2 з'ясувати осередки короїдів на ландшафтах Флориди. В результаті досліджень показано, що MODIS і Sentinel-2 можуть з'ясувати пошкодження, спричинені короїдами в південно-східному регіоні США, але продукти NDVI супутника Sentinel-2 демонструють більший потенціал для виявлення ознак порушень, спричинених короїдами, у південно-східному регіоні США, ніж дані спектрорадіометра середнього розділення (MODIS), оскільки висока просторово-часова неоднорідність лісових угідь південно-східного регіону перешкоджає їх використанню при поточному розділенні [2].

Інше дослідження, проведено Spruce et al. (2020), фокусувалося на визначенні потенціалу супутникових даних MODIS для оцінки впливу верхівкового короїда на ліси на півночі Скелястих гір Колорадо, США. Здійснений кореляційний аналіз різних продуктів NDVI MODIS із роздільною здатністю 250 м показав, що найвищі значення кореляції з раніше створеною високоточною картою відсотка пошкодження лісів, отриманою з багатоспектрального аерознімання, спостерігались за використання щоденних продуктів NDVI на основі даних MOD09/MYD09 порівняно з

16-денними продуктами NDVI [3]. Дослідження показало, що застосування супутникових даних MODIS дає можливість оцінювати рівень ураження та розподіл шкідника на великій площі, а точні методи, що використовують такі дані, можуть допомогти визначити пріоритетність заходів з обробки й відновлення лісів.

Також варто відзначити дослідження, проведене König et al. (2023), де застосовувалися мультиспектральні дані з Landsat і Sentinel-2, а також SAR Sentinel-1 та їх комбінації для виявлення зон ураження жуками-короїдами в Баварському лісовому національному парку. Найкращі загальні результати з точки зору просторової точності були досягнуті із Sentinel-2 (макс. загальна точність: 0,93). Результати, отримані із Landsat, були дещо гіршими, ніж із Sentinel-2 (макс. точність: 0,89). Хоча поєднання Landsat і Sentinel-2 давало схожі результати, воно не мало переваг над використанням лише Landsat або Sentinel-2 (макс. точність: 0,87), тоді як Sentinel-1 не зміг виявити уражені ділянки (макс. точність: 0,62). Комбіновані дані з усіх трьох типів супутників також не дали задовільних результатів (макс. точність: 0,67). Результати дослідження переконливо засвідчують, що супутникова система Sentinel-2 найкраще пристосована для картографування осередків інвазій жуків-короїдів. Її ефективність забезпечує висока спектральна чутливість до спричинених короїдами змін спектральних характеристик лісових насаджень. Особливої уваги заслуговують спектральні зони червоного краю, які досі рідко використовувалися для подібних завдань, проте були надзвичайно інформативними в контексті виявлення короїдних вогнищ [4].

Zhang et al. (2022) удосконалили метод сегментації зони ураження лісовими шкідниками шляхом поєднання мультиспектральних, вегетаційних індексів та спектральної інформації Sentinel-2 за допомогою глибокого навчання. Зображення Sentinel-2 були використані для створення набору сигнатур на основі офіційних наземних даних про ураження лісу. Набір даних містить сигнатури 11 оригінальних спектральних каналів Sentinel-2 та 13 вегетаційних індексів. Отримані результати підтверджують важливість вегетаційних індексів та мультиспектральних даних у покращанні ефективності виявлення ділянок, уражених шкідниками [5].

Abdullah et al. (2019) оцінили здатність спектральних вегетаційних індексів, одержаних за даними супутників Landsat-8 та Sentinel-2, картувати ділянки, уражені короїдом за допомогою аналізу головних компонентів та аналізу методом найменших квадратів. Було відзначено, що більшість спектральних вегетаційних індексів, розрахованих на основі даних Sentinel-2, здатні відрізняти здорові ділянки від уражених. Натомість лише водні індекси (NDWI, DSWI та RDI) були більш ефективними у відокремленні здорових і уражених ділянок. Дослідження показало підвищену чутливість зображень Sentinel-2 до змін, спричинених дією жуків-короїдів, що підкреслює потенціал даних Sentinel-2 для раннього виявлення ураження лісових масивів та створення надійних карт пошкоджених територій [6].

Враховуючи останні дослідження в галузі моніторингу верхівкового короїда за допомогою супутникових даних, можна зробити висновок, що вони надають потужний інструмент для оцінки поширення шкідника та його впливу на лісові екосистеми. Використання вегетаційних індексів таких, як NDVI, EVI та CIrededge, дає змогу автоматично виявляти й картографувати уражені масиви, що допомагає ухвалювати обґрунтовані рішення щодо управління та захисту лісів від верхівкового короїда.

Також варто зазначити, що останні дослідження звернули увагу на взаємозв'язок між поширенням верхівкового короїда та чинниками довкілля. Дослідження вказують на вплив кліматичних умов, особливостей ґрунтового покриву та структури лісових масивів на поширення цього шкідника. Ці знання є важливими для розуміння механізмів поширення верхівкового короїда та розроблення ефективних стратегій контролю й захисту лісових ресурсів.

Загалом, останні дослідження підтверджують значимість використання супутникових даних у моніторингу стану соснових масивів, уражених верхівковим короїдом. Ці дані дають можливість отримати об'єктивну інформацію про поширення шкідника та його вплив на деревостан, що є важливим для розроблення науково обґрунтованих стратегій управління лісовими ресурсами та збереження екологічної рівноваги у лісових екосистемах.

Одним із прикладів моніторингу ушкоджених лісових масивів в Україні може бути праця «Застосування дистанційного зондування для моніторингу стану лісових екосистем Житомирського Полісся, ушкодженого короїдом» (Кучма Т.Л., Ландін В.П., Швиденко І.К., Фещенко В.П., Соломок В.Л., 2019), в якій наочно продемонстрована методика та розписані засоби, завдяки яким було проведено моніторинг лісового масиву [7]. Також деякі наукові дослідження, присвячені вивченню життєдіяльності короїдів та надають уявлення про сучасний рівень розуміння їх генетики [8], визначення динаміки популяцій короїдів та основні тенденції їх розвитку у соснових насадженнях Житомирської обл. та Рівненського Полісся [9; 10]. До того ж питання ураження дерев верхівковим короїдом досліджувалися в роботах І.Я. Трускавецької (2020). Ці дослідження глибше розглядають причини й наслідки ураження дерев верхівковим короїдом та надають додатковий контекст для дослідження [11]. Ця інформація важлива для точного визначення періоду активного розповсюдження шкідника та розуміння його поведінки в природному середовищі.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дерева, уражені стовбуровими шкідниками, можна розпізнати за певними діагностичними ознаками. В осередках всихання у дерев, нещодавно уражених короїдами, відбувається зміна кольору хвої з зеленого на сіро-зелений та тьмяний, а згодом на рудий із подальшим її опаданням через порушення життєдіяльності. Біля основи стовбурів наявне бурове борошно — результат діяльності шкідників та відламані дрібні гілки із ознаками заселення короїдами на землі під кронами. До того ж відбувається зміна біофізичних характеристик дерев, що призводить до перетворення відбивної здатності їх крон, завдяки чому змінюється їх колір (*рис. 1*).

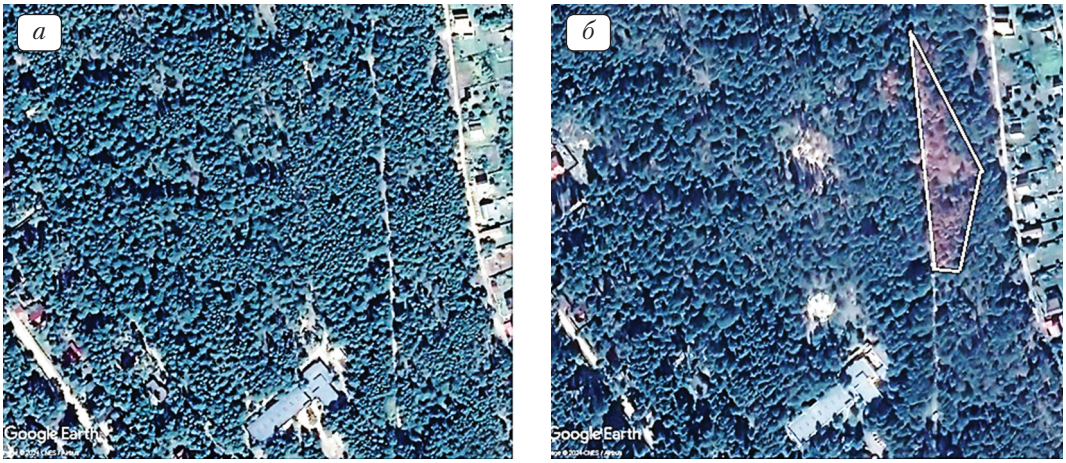


Рис. 1. Масив соснових насаджень Острівського лісництва ДП «Вищедубечанський лісгосп»:
а — до пошкодження верхівковим короїдом;
б — після пошкодження — уражена ділянка окреслена
Примітка: знімки Airbus відповідно за 3.08.2014 та 12.08.2017 (джерело Google Earth Pro).

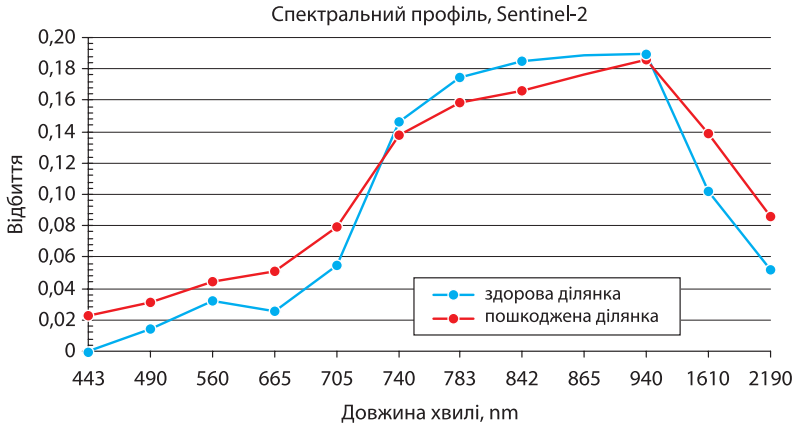


Рис. 2. Спектральний графік відбиття здорової ділянки соснових насаджень та пошкоджених короїдом

Спектральний коефіцієнт яскравості (СКЯ) пікселя супутникового знімка формується складною комбінацією відбитого випромінювання від різних компонентів лісового середовища, включаючи крони дерев, крони нижчих ярусів, підріст, підлісок, живий надґрунтовий покрив, ґрунт та тіні від сусідніх дерев. У здоровій рослинності спостерігається низький рівень відбиття у червоній (0,58–0,75 мкм) зоні спектра та високий рівень відбиття у ближній інфрачервоній (0,72–1,3 мкм) частині спектра (*рис. 2*). Однак, за пошкодження рослинності та зниження її фотосинтетичної активності, відбиття у червоній зоні збільшується, тоді як у ближній інфрачервоній — зменшується. Крім того, відбуватиметься значне збільшення відбиття у середній інфрачервоній (1,5–5,6 мкм) зоні через зниження вмісту вологи у пошкоджених деревах (див. *рис. 2*).

Отже, за пошкодження дерев, особливо внаслідок ураження верхівковим короїдом, змінюється відбивна здатність крони сосни, зменшується вплив верхньої крони на СКЯ та збільшується вплив ґрунту, підросту, підліску та надґрунтового покриву [12]. Така зміна спектральних характеристик соснових насаджень дає можливість застосовувати методи дистанційного зондування Землі, зокрема мультиспектральну супутникову зйомку та індексні зображення.

За математичними операціями з кількома спектральними каналами створюються індексні зображення — вегетаційні індекси, що описують стан рослинності. Піксель цього зображення має значення в певному діапазоні. Це дає змогу порівнювати між собою індексні зображення в різні часові періоди або на різні території. Для розрахунку більшості з них використовуються два найстійкіші спектральні діапазони відбивної здатності рослин: червона зона спектра (0,58–0,75 мкм), де спостерігається максимальне поглинання сонячної радіації хлорофілом, та ближня інфрачервона зона (0,72–1,3 мкм) з максимальним відбиттям енергії клітинною структурою листка.

Найбільш оптимальним є використання даних супутникової зйомки з просторовим розрізненням 10–30 м для моніторингу лісових масивів упродовж вегетаційного періоду. До таких даних відносяться знімки супутника Sentinel-2 з просторовим розрізненням 10 м, який здійснює великий обсяг зйомки, що забезпечує багаторазове покриття території дослідження. Для побудови індексних зображень за даними цього супутника використовують зазвичай спектральні канали B4 (червоний), B8 та B11 (*табл.*).

Нормалізований диференційний вегетаційний індекс NDVI (Normalised Difference

Вегетаційні індекси

Спектри	Канали	Формула	Супутник	Посилання
NDVI	B8 B4	(B8-B4)/(B8+B4)	Sentinel-2 L2A	J. Rouse, 1973 р. [13]
NDMI	B8A B11	(B8A-B11)/(B8A+B11)	Sentinel-2 L2A	E. Hunt, 1989 р. [14]

Vegetation Index) є простим, але найінформативнішим вегетаційним індексом. Це показник стану здоров'я рослинності, який базується на здатності рослин відбивати хвилі світла певної довжини, червоної та ближньої інфрачервоної зон спектра. Цей індекс дає можливість аналізувати рослинні об'єкти і чітко відокремлювати їх від інших об'єктів. Діапазон значень NDVI становить від –1 до 1. Від'ємні значення NDVI (значення, що наближаються до –1) означають водні об'єкти. Значення, близькі до нуля (від –0,1 до 0,1), зазвичай вказують на оголені ділянки скель, піску або снігу. Низькі додатні значення характерні для чагарників і лук (приблизно від 0,2 до 0,4), або зрідженої рослинності, тоді як високі значення характерні для густої рослинності, зокрема лісів (значення наближені до 1).

Оскільки відбувається усихання соснових насаджень внаслідок пошкодження їх верхівковим короїдом доцільно використовувати спектральний вегетаційний індекс, який пов'язаний із вмістом вологи в рослинності, — нормалізований диференційний індекс вологості NDMI (Normalised Difference Moisture Index). Він обумовлений впливом на відбивну здатність зеленої рослинності смуг водного поглинання, застосовується для визначення вмісту вологи в рослинності та моніторингу посухи. Діапазон значень NDMI становить від –1 до 1. Від'ємні значення NDMI (значення, що наближаються до –1) відповідають відкритому ґрунту. Значення близькі до нуля (від –0,2 до 0,4) зазвичай позначають водний стрес. Високі додатні значення відповідають високому рослинному покрову, що не зазнає водного стресу (приблизно від 0,4 до 1). Він дає змогу виявити варіації рослинного покриву, пов'язані з умовами зволоження, і визначати весь об'єм вологи у вегетаційному рослинному покриві.

Тому, методика досліджень полягала у використанні супутникових даних для встановлення просторового розповсюдження пошкодження території соснових насаджень верхівковим короїдом, зокрема комплексуванням індексів NDVI та NDMI, аналізом їх динаміки впродовж 2017–2020 рр. Дослідження проводились за даними супутника Sentinel-2, які були отримані із сайту сервісу Європейського космічного агентства Sentinel Hub EO Browser (URL: https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/), який надає доступ до супутникових знімків Sentinel-2 з 2014 р.

Територією досліджень обрано масив соснових насаджень Острівського лісництва ДП «Вищедубечанський лісгосп» (*рис. 3*), який був пошкоджений верхівковим короїдом.

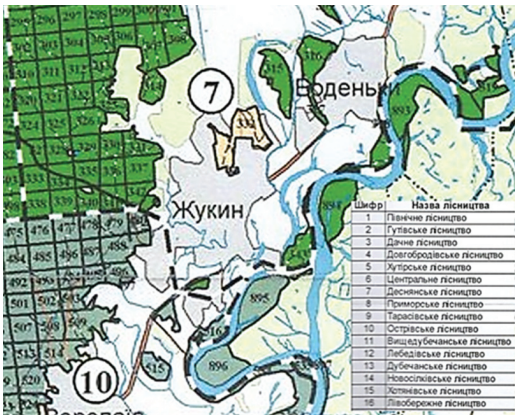


Рис. 3. Територія досліджень — Острівське лісництво ДП «Вищедубечанський лісгосп»

Примітка: розроблено авторами на основі сайту: URL: https://kyivlis.gov.ua/zp-ssl-dp-vyshhedubechanskyj-lisgosp.

Як наземні дані було використано інформацію Київського обласного та по м. Києву управління лісового й мисливського господарства щодо заходів із поліпшення стану лісу [14] та безпосередні наземні спостереження. Відомості про санітарний стан соснового масиву міститься у документі «Перелік заходів з поліпшення санітарного стану лісів ДП «Вищедубечанський лісгосп» Київської обл. на 2017 р. від 22.08.2017 р.» [15].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Проблема поширення короїдів у хвойних лісах має масштабний характер. Потепління клімату, екстремально високі температури, збільшення кількості посух привели до зростання кількості спалахів короїдів. Зважаючи на необхідність координації міжнародних дій у межах діяльності пан'європейської програми FoRISK (Forest Risk Knowledge Facility) була організована об'єднана робоча група «Управління біотичними загрозами і лісах — уроки спалахів короїдів» (Managing Biotic Threats in Forests — Lessons Learned from Bark Beetle Calamities), яка складалась із понад 40 представників 16 європейських країн, зокрема України. Робоча нарада цієї групи відбулась 30 травня – 1червня 2023 р., в якій обговорювались питання стратегії управління ризиками поширення пошкоджень лісових насаджень та заходи управління спалахами короїдів [16].

Зумовлене потеплінням істотне розширення періоду, сприятливого для інтенсивної життєдіяльності ксилофагів (до 7–8 міс.), та наявність великої кормової бази у вигляді ослаблених деревостанів закономірно стимулює подальше значне наростання їх чисельності. Так, верхівковий короїд утворює за вегетаційний період уже не два повноцінні покоління, а три [17].

Внаслідок зміни клімату, підвищення температури, сосни стають більш вразливими до нападу короїда верхівкового. Починаючи з 2013 р. у Київській обл. спостерігалось підвищення середньої температури наземного покриву за вегетаційний період, її перевищення середньобагаторічної температури вегетаційного періоду, яка становить 17,7°С (*рис. 4*). Також було відмічено зниження середньомісячної суми опадів порівняно із середньобагаторічними даними (*рис. 5*).

Отже тривалий посушливий період підвищена температура сприяли ослабленню

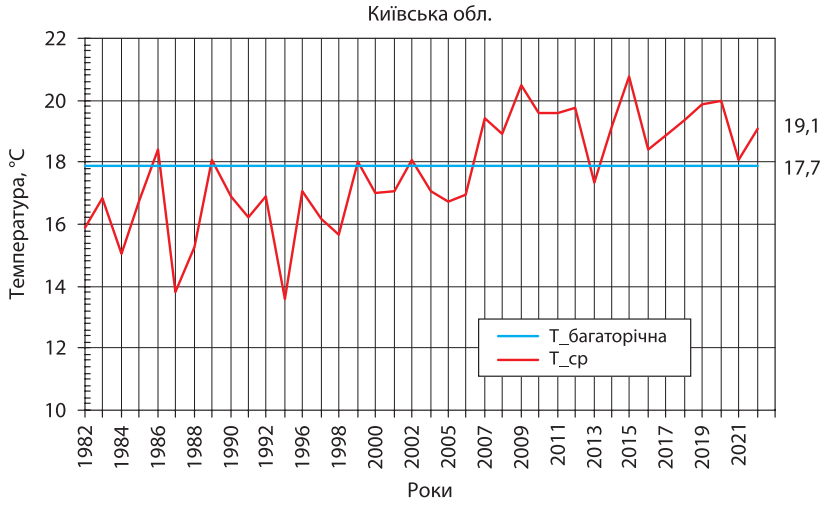


Рис. 4. Середня температура наземного покриву за вегетаційний період

Примітка: побудовано авторами за даними STAR NESDIS NOAA — Satellite Applications and Research of NOAA's National Environmental Satellite Data Information Services [18].

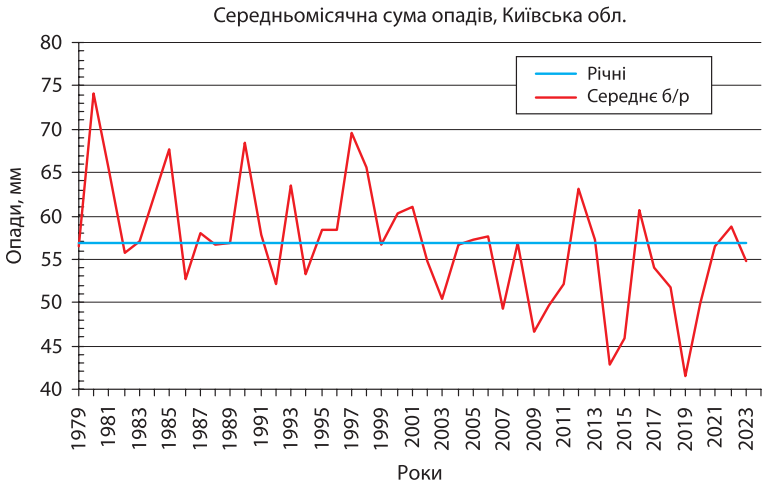


Рис. 5. Середньомісячна сума опадів

Примітка: побудовано авторами за даними ERA5 ECMWF / Copernicus Climate Change Service [19].

соснових насаджень, що стало поштовхом до збільшення чисельності короїда в Київській обл.

Для відстеження поширення ураження соснового масиву верхівковим короїдом було використано знімки в режимі True Color.

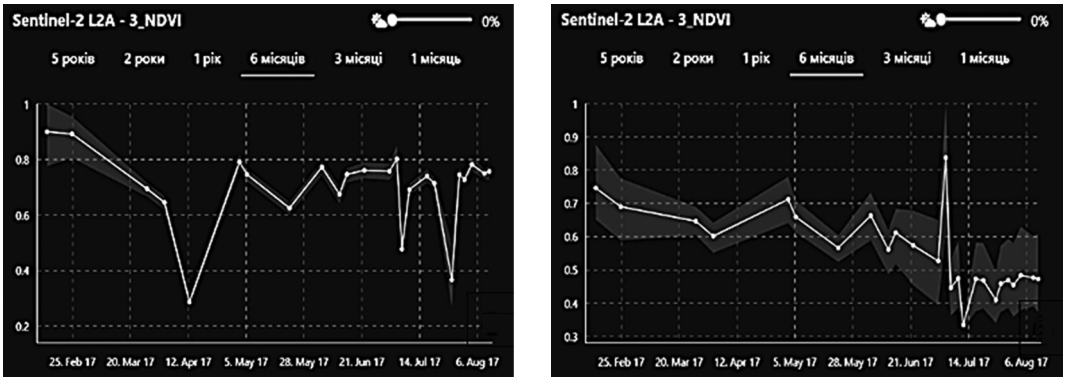
На *рис. 1* показано досліджувану ділянку соснового масиву, яка становить площу в 0,01км^2, в True Color за даними супутника Airbus (джерело Google Earth Pro) до ураження короїдом та на момент, коли сосновий масив був повністю уражений (знімок 2017 р., *рис. 1, б*), що добре видно по засохлих деревах в масиві.

Нами було побудовано завдяки сервісу Sentinel EO Browser графіки індексів NDVI і NDMI для ураженої верхівковим короїдом ділянки соснових насаджень і для еталонної ділянки здорових соснових насаджень. Згідно аналізу графіків цих індексів, можна зробити такі висновки: для ділянки здорових соснових насаджень у середньому значення NDVI становлять 0,6–0,8 (*рис. 6, а*), в той час як для ураженої ділянки значення цього індексу починають знижуватись у квітні 2017 р. від 0,6 до 0,4 і нижче у липні 2017 р. (*рис. 6, б*), що є індикатором погіршення стану соснового масиву. Для еталонної ділянки значення індексу вологості NDMI знаходяться в діапазоні 0,2–0,4 (*рис. 7, а*), крім того, для ураженої ділянки значення індексу вологості NDMI нижче 0,2 (*рис. 7, б*), що є індикатором усихання соснових насаджень. Піки в графіках це є похибка програми, пов'язана з урахуванням деяких знімків поганої якості. Тому вищенаведені індекси NDVI і NDMI можуть бути індикаторами ураження соснового масиву верхівковим короїдом.

Для одночасного врахування погіршення стану соснових насаджень і їх усихання було виконано операцію синтезу растрів індексів NDVI та NDMI в програмному забезпеченні QGIS для аналізу динаміки поширення короїда (*рис. 8*).

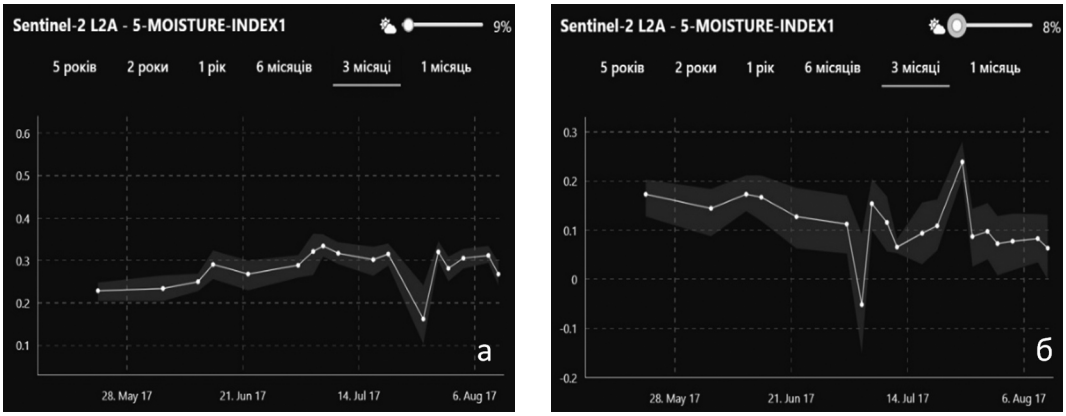
Відомо, що верхівковий короїд досить сильно залежить від температурних показників, які регулюють його процеси життєдіяльності. Згідно з даними ДСЛП «Київлісозахист» можна стверджувати, що для активної діяльності верхівкового короїда температура повітря 20°С є комфортною, за якої починається їх масовий літ і заселення дерев на прилеглих територіях [20].

Як видно, за даними метеостанцій ця температура була вже досягнута на червень 2017 р. і трималась упродовж липня (*рис. 9*). Отже, активне поширення верхів-



а *б*

Рис. 6. Графік NDVI для ділянки здорових соснових насаджень (*а*) та ураженої верхівковим короїдом (*б*)



а *б*

Рис. 7. Графік NDMI для ділянки здорових соснових насаджень (*а*) та ураженої верхівковим короїдом (*б*)

Рис. 8. Динаміка пошкодження соснового масиву

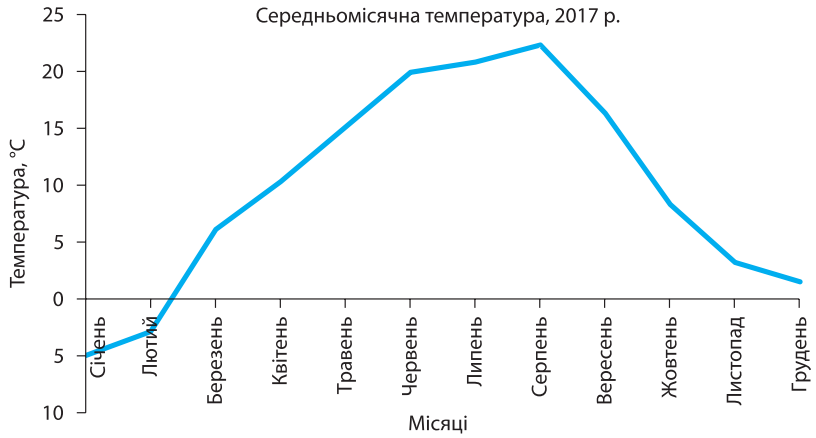
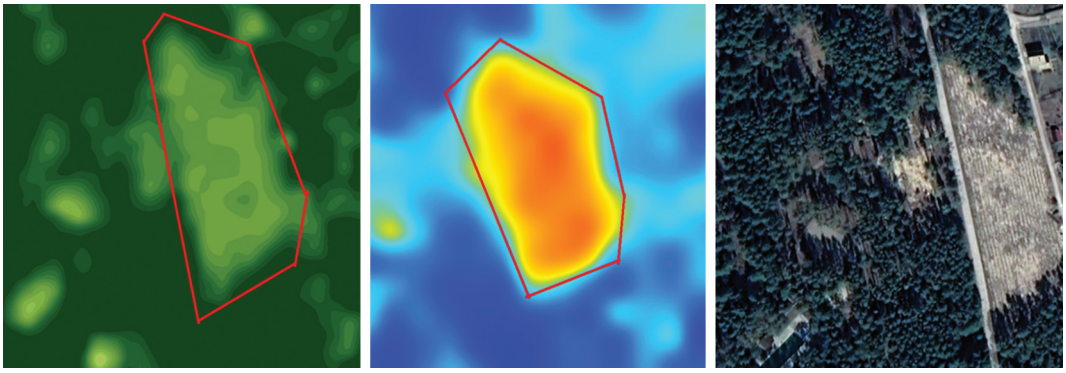


Рис. 9. Середньомісячна температура по метеостанції м. Київ за 2017 р.
Примітка: розроблено авторами на основі [21].



а *б* *в*

Рис. 10. Результат санітарної вирубки масиву пошкоджених насаджень:
а — NDVI; *б* — NDMI (супутниковий знімок Sentinel-2, 31.08.2018, Sentinel EO Browser);
в — 13.04.2020 Airbus (джерело Google Earth Pro)

кового короїда припало на липень як за нашими даними (дис. *рис. 8*), так і середньою температурою за 2017 р.

У результаті у 2018 р. була проведена санітарна вирубка пошкодженого соснового масиву площею 0,01 км^2, що простежується за індексами NDVI, NDMI та знімком у режимі TrueColor (*рис. 10*) та графіком NDVI за період з 11.08.2018 по 7.11.2018, де спостерігається зниження його значень у серпні 2018 р. від 0,6 до 0,25 (*рис. 11*).

У 2019 р. було започатковано проєкт із відновлення лісової екосистеми шляхом створення нової лісової плантації сосни.

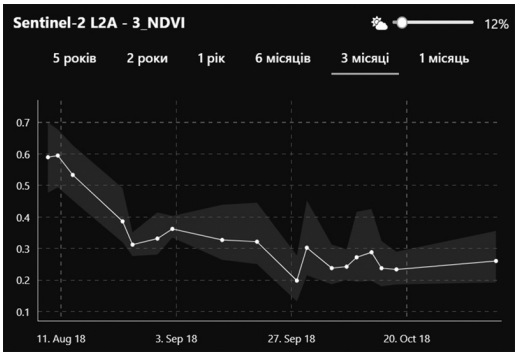


Рис. 11. Динаміка NDVI для території дослідження (Sentinel EO Browser)

Спостереження за супутниковими знімками у квітні 2024 р. демонструють успішний ріст молодого соснового лісу. Аналіз індексу NDVI, який використовується для оцінки стану рослинного покриву, засвідчує позитивну динаміку. Наприкінці квітня 2020 р. значення індексу становило 0,25, що вказувало на переважання відкритого ґрунту. Однак у квітні 2024 р. цей показник збільшився до 0,45, що свідчить про активне зростання рослинності та успішне відновлення лісової екосистеми. Ця інформація підтверджується наземними дослідженнями: висота висаджених сосон сягає 80–100 см, площа засадженої ділянки 0,01 км^2.

ВИСНОВКИ

Отже, результати дослідження продемонстрували ефективність використання супутникових даних, зокрема знімків Sentinel-2 та індексів NDVI і NDMI, для моніторингу поширення верхівкового короїда у соснових лісах. Комплексне застосування цих індексів дає змогу виявляти уражені ділянки на ранніх стадіях за зміною спектральних характеристик крон дерев та вмісту вологи в рослинності. Аналіз супутникових даних підтвердив повне ураження верхівковим короїдом соснового масиву площею 0,01 км^2 у Острівському лісництві ДП «Вищедубечанський лісгосп» Київської обл. у 2017 р. Виявлено зв'язок між активізацією поширення короїда та кліматичними змінами, зокрема підвищенням температури та зниженням кількості опадів, що призвело до ослаблення соснових насаджень.

Отримані результати демонструють важливість використання супутникових даних для своєчасного виявлення осередків поширення шкідників лісових екосистем, визначення площ ураження, контролю ефективності санітарних заходів та моніторингу відновлення лісових масивів після їх проведення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Massey R., Berner L.T., Foster A.C., Goetz S.J. and Vepakomma U. Remote Sensing Tools for Monitoring Forests and Tracking Their Dynamics. Boreal Forests in the Face of Climate Change. *Advances in Global Change Research*. 2023. Vol. 74. P. 637–656. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-15988-6_26.
2. Gomez D., Ritger H., Pearce C., Eickwort J. and Hulcr J. Ability of Remote Sensing Systems to Detect Bark Beetle Spots in the Southeastern US. *Forests*. 2020. Vol. 11 (11). P. 1167. DOI: https://doi.org/10.3390/f11111167.
3. Spruce J.P., Hicke J.A., Hargrove W., Grulke N.E. and Meddens A.J.H. Use of MODIS NDVI Products to Map Tree Mortality Levels in Forests Affected by Mountain Pine Beetle Outbreaks. *Forests*. 2019. Vol. 10 (9). P. 811. DOI: https://doi.org/10.3390/f10090811.
4. König S., Thonfeld F., Förster M., Dubovyk O. and Heurich M. Assessing Combinations of Landsat, Sentinel-2 and Sentinel-1 Time series for Detecting Bark Beetle Infestations. *GIScience & Remote Sensing*. 2023. Vol. 60 (1). DOI: https://doi.org/10.1080/15481603.2023.2226515.
5. Zhang J., Cong S., Zhang G. et al. Detecting Pest-Infested Forest Damage through Multispectral Satellite Imagery and Improved UNet++. *Sensors*. 2022. Vol. 22 (19). P. 7440. DOI: https://doi.org/10.3390/s22197440.
6. Abdullah H., Skidmore A.K., Darvishzadeh R. and Heurich M. Sentinel-2 accurately maps green-attack stage of European spruce bark beetle (*Ips typographus* L.) compared with Landsat-8. *Remote Sens. Ecol. Conserv*. 2019. Vol. 5. P. 87–106. DOI: https://doi.org/10.1002/rse2.93.
7. Кучма Т.Л., Ландін В.П., Швиденко І.К. та ін. Застосування дистанційного зондування для моніторингу стану лісових екосистем Житомирського Полісся, ушкоджених короїдами. *Економічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві:* матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 3–5 липн. 2019 р.). Київ: ДІА, 2019. С. 152–156.
8. Janes J.K. and Batista P.D. The Role of Population Genetic Structure in Understanding and Managing Pine Beetles. *Advances in Insect Physiology* / Tittiger C., Blomquist G.J. (Eds.). Academic Press. 2016. Vol. 50. P. 75–100. DOI: https://doi.org/10.1016/bs.aiip.2016.01.001.
9. Андреєва О.Ю., Вишневський А.В., Болюх С.В. Динаміка популяцій короїдів у соснових лісах Житомирської області. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Вип. 29 (8). С. 31–35. DOI: https://doi.org/10.36930/40290803.
10. Andreieva O.Y., Guzii A.I., Vyshnevskyi A.V. et al. Поширення осередків масового розмноження короїдів у соснових насадженнях Рівненського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ*. 2018. Вип. 28 (3). С. 14–17. DOI: https://doi.org/10.15421/40280302.
11. Трускавецька І.Я. Особливості біології та шкідливість жуків родини короїди (*Ipidae*) у лісових

екосистемах Бучацького лісництва Черкаської області. *Екологічні науки*. 2020. Вип. 2 (1). С. 91–95. DOI: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.1.14.
12. Ландін В.П., Кучма Т.Л., Швиденко І.К. та ін. Методичні рекомендації з виявлення поширення осередків усихання лісових насаджень внаслідок ураження верхівковим короїдом за допомогою методів дистанційного зондування. К., 2019. 16 с.
13. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A. and Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third ERTS Symposium, NASA*. 1973. SP-351. Vol. 1. P. 309–317. URL: https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf.
14. Hunt E.R. and Rock B.N. Detection of changes in leaf water content using near-and middle-infrared reflectances. *Remote sensing of environment*. 1989. Vol. 30 (1). P. 43–54. DOI: https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90046-1.
15. Перелік заходів з поліпшення санітарного стану лісів ДП «Вищедубечанський лісгосп» Київської області на 2017 рік від 22.08.2017 р. URL: https://kyivlis.gov.ua/wp-content/uploads/2017/10/pzpss_2017_dp_vischedubechanskiy_l_sgosp.pdf.
16. Мєшкова В., Давиденко К. Як «погасити» спалахи короїдів. Міжнародний досвід. *Природа і суспільство*. 2023. № 3-32 (435–436). С. 3–5.
17. Бородавка В., Гетьманчук А., Бортнік Т., Кичилюк О., Войтюк В. Новий патогенний комплекс соснових лісів Волинського Полісся. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. 2017. С. 23–31. URL: https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/13232/1/7.pdf.
18. STAR — Global Vegetation Health Products: Province-Averaged VH. URL: https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_adminMean.php?type=Province_Weekly_MeanPlot/.
19. ERA5 Monthly Aggregates — Latest Climate Reanalysis Produced by ECMWF / Copernicus Climate Change Service. URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ECMWF_ERA5_MONTHLY#description.
20. Верхівковий короїд. URL: https://kyivlisozahyst.com.ua/novini/novina/verkhivkovii-korojid.
21. МЕТЕОПОСТ. Статистика погоди. Кліматичні дані за роками та місяцями. URL: https://meteopost.com/weather/climate/.

REFERENCES

1. Massey, R., Berner, L.T., Foster, A.C., Goetz, S.J. & Vepakomma, U. (2023). Remote Sensing Tools for Monitoring Forests and Tracking Their Dynamics. Boreal Forests in the Face of Climate Change. *Advances in Global Change Research, 74*, 637–656. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-15988-6_26 [in English].
2. Gomez, D., Ritger, H., Pearce, C., Eickwort, J. & Hulcr, J. (2020). Ability of Remote Sensing Systems to Detect Bark Beetle Spots in the Southeastern US. *Forests, 11 (11)*, 1167. DOI: https://doi.org/10.3390/f11111167 [in English].
3. Spruce, J.P., Hicke, J.A., Hargrove, W., Grulke, N.E. & Meddens, A.J.H. (2019). Use of MODIS NDVI Products to Map Tree Mortality Levels in Forests Affected by Mountain Pine Beetle Outbreaks. *Forests, 10 (9)*, 811. DOI: https://doi.org/10.3390/f10090811 [in English].
4. König, S., Thonfeld, F., Förster, M., Dubovyk, O. & Heurich, M. (2023). Assessing Combinations of Landsat, Sentinel-2 and Sentinel-1 Time series for Detecting Bark Beetle Infestations. *GIScience & Remote Sensing, 60 (1)*. DOI: https://doi.org/10.1080/15481603.2023.2226515 [in English].
5. Zhang, J., Cong, S., Zhang, G. et al. (2022). Detecting Pest-Infested Forest Damage through Multispectral Satellite Imagery and Improved UNet++. *Sensors, 22 (19)*, 7440. DOI: https://doi.org/10.3390/s22197440 [in English].
6. Abdullah, H., Skidmore, A.K., Darvishzadeh, R. & Heurich, M. (2019). Sentinel-2 accurately maps green-attack stage of European spruce bark beetle (*Ips typographus* L.) compared with Landsat-8. *Remote Sens. Ecol. Conserv., 5*, 87–106. DOI: https://doi.org/10.1002/rse2.93 [in English].
7. Kuchma, T.L., Landin, V.P., Shvidenko, I.K. et al. (2019). Zastosuvannya dystantsiynoho zonduvannya dlya monitorynhu stanu lisovykh ekosystem Zhytomyrs'koho Polissya, ushkodzhenykh koroyidamy [Application of remote sensing to monitor the state of forest ecosystems of Zhytomyr Polissia damaged by bark beetles]. *Ekonomichna bezpeka ta zbalansovane pryrodokorystuvannya v ahropromyslovomu vyrobnytstvi: materialy Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi [Economic security and balanced use of nature in agro-industrial production: materials of the International Scientific and Practical Conference]*. (pp. 152–156). Kyiv [in Ukrainian].
8. Janes, J.K., Batista, P.D., Tittiger, C. & Blomquist, G.J. (Eds.). (2016). The Role of Population Genetic Structure in Understanding and Managing Pine Beetles. *Advances in Insect Physiology, 50*, 75–100. DOI: https://doi.org/10.1016/bs.aiip.2016.01.001 [in English].
9. Andreyeva, O.Yu., Vishnevskyi, A.V. & Bolyukh, S.V. (2019). Dynamika populyatsiy koroyidiv u sosnovykh lisakh Zhytomyrs'koyi oblasti [Dynamics of bark beetle populations in pine forests of Zhytomyr region]. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny — Scientific bulletin of NLTU of Ukraine, 29 (8)*, 31–35. DOI: https://doi.org/10.36930/40290803 [in Ukrainian].
10. Andreieva, O.Y., Guzii, A.I., Vyshnevskyi, A.V. et al. (2018). Poshyrennya oseredkiv masovoho rozmnozhennya koroyidiv u sosnovykh nasadzhennyakh Rivnens'koho Polissya [Spread of bark beetles foci in pine stands of Rivne Polissya]. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny — Scientific bulletin of NLTU of Ukraine, 28 (3)*, 14–17. DOI: https://doi.org/10.15421/40280302 [in Ukrainian].
11. Truskavetska, I.Ya. (2020). Osoblyvosti biolohiyi ta shkidlyvist' zhukiv rodyny koroyidy (*Ipidae*) u lisovykh

ekosystemakh Buchats'koho lisnytstva Cherkas'koyi oblasti [Peculiarities of biology and harmfulness of beetles of the bark beetle family (*Ipidae*) in forest ecosystems of the Buchatsky forestry of the Cherkasy region]. *Ekolohichni nauky — Ecological Sciences, 2 (1)*, 91–95. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekolnauk_2020_2(1)__16 [in Ukrainian].

12. Landin, V.P., Kuchma, T.L., Shvidenko, I.K. et al. (2019). *Metodychni rekomendatsiyi z vyyavlennya poshyrennya oseredkiv usykhannya lisovykh nasadzhen' vnaslidok urazhennya verkhivkovym koroyidom za dopomohoyu metodiv dystantsiynoho zonduvannya [Methodological recommendations for detecting the distribution of foci of withering of forest stands as a result of damage by apical bark beetle using remote sensing methods]*. Kyiv [in Ukrainian].
13. Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. & Deering, D.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third ERTS Symposium, NASA SP-351, 1*, 309–317. URL: https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf [in English].
14. Hunt, E.R. & Rock, B.N. (1989). Detection of changes in leaf water content using near-and middle-infrared reflectances. *Remote sensing of the environment, 30 (1)*, 43–54. DOI: https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90046-1 [in English].
15. Perelik zakhodiv z polipshennya sanitarnoho stanu lisiv DP «Vyshchedubechans'kyy lis·hosp» Kyyivs'koyi oblasti na 2017 rik vid 22.08.2017 [List of measures to improve the sanitary condition of forests of the SE «Vishchedubechanskiy forest farm» of the Kyiv region for 2017 from 08.22.2017]. (n.d.). URL: https://kyivlis.gov.ua/wp-content/uploads/2017/10/pzpss_2017_dp_vischedubechanskiy_l_sgosp_.pdf [in Ukrainian].
16. Meshkova, V. & Davydenko, K. (2023). Yak «pohasyty» spalakhy koroyidiv. Mizhnarodnyy dosvid [How to «extinguish» outbreaks of bark beetles. International experience]. *Pryroda i suspil'stvo — Nature and society, 31-32 (435–436)*, 3–5 [in Ukrainian].
17. Borodavka, V., Hetmanchuk, A., Bortnik, T., Kychylyuk, O. & Voytiuk, V. (2017) Novyy patohennyy kompleks sosnovykh lisiv Volyns'koho Polissya [New pathogenic complex of pine forests of Volyn Polissia]. *Naukovyy visnyk Skhidnoyevropeys'koho natsional'noho universytetu imeni Lesi Ukrayinky — Scientific bulletin of Lesya Ukrainka East European National University, 7*, 23–31. URL: https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/13232/1/7.pdf [in Ukrainian].
18. STAR — Global Vegetation Health Products: Province-Averaged VH. (n.d.). URL: https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_adminMean.php?type=Province_Weekly_MeanPlot/ [in English].
19. ERA5 Monthly Aggregates — Latest Climate Reanalysis Produced by ECMWF / Copernicus Climate Change Service. (n.d.). URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ECMWF_ERA5_MONTHLY#description [in English].
20. Verkhivkovyy koroyid [Apical bark beetle]. (n.d.). URL: https://kyivlisozahyst.com.ua/novini/novina/verkhivkovii-korojid [in Ukrainian].
21. METEOPOST. Statystyka pohody. Klimatychni dani za rokamy ta misyatsyamy [METEOPOST. Weather statistics. Climatic data by year and month]. (n.d.). URL: https://meteopost.com/weather/climate/ [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 02.05.2024

УДК 615.322:543 DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311185

ЦИТОГЕНЕТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ СПОНТАННОГО МУТАГЕНЕЗУ

О.В. Мудрак[1], Т.В. Морозова[2]

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

[2]Національний транспортний університет (м. Київ, Україна)
e-mail: tetiana.morozova@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4836-1035

У зв'язку зі складною екологічною ситуацією в Україні виникає необхідність проведення цитогенетичного моніторингу, встановлення причинно-наслідкових зв'язків та оцінки токсико-мутагенної активності складників довкілля. Результати такого моніторингу можуть послугувати основою для розробки реабілітаційних заходів, спрямованих на покращання стану навколишнього середовища. Цитогенетичні методи біотестування дають можливість оцінити екологічні та генетичні ризики для біоти, враховуючи загальну дію забруднювачів, передбачити зміни в екосистемах і ухвалити вчасні управлінські рішення для поліпшення якості довкілля та збереження генофонду нації. У статті здійснено цитогенетичний моніторинг апікальних меристем коренів проростків Raphanus sativus subsp. radicula (Pers.) DC. та Allium cepa L., вирощених на ґрунтах селітебних територій та вивчено вплив іонів деяких елементів на цитологічні показники Pisum sativum L. Відмічено розширення спектра аномалій мітозу й аберацій хромосом за рахунок хромосом, що відстали та мікроядер. Селітебні території зі стабільно високим рівнем спонтанних цитогенетичних порушень потребують розробки системи локального моніторингу, задля виявлення генетичної небезпеки. Проведені дослідження проліферативної активності клітин апікальної меристеми, підтверджують гіпотезу про токсичність алюмінію для рослин. Цитотоксичну дію оцінено на мікро- та макроскопічному рівні. Макроскопічно спостерігали зменшення росту коренів біоіндикаторів, що може бути результатом кількох можливих механізмів: загибель клітин, пригнічення поділу, розтягу клітин, або поглинання поживних речовин. Виявлено, що на тривалість профази мають прямий вплив рухомі форми Zn та Pb, тоді як Cu впливає зворотно. За результатами множинного регресійного аналізу встановлено, що найбільший вплив на ці процеси мають рухомі форми Zn, Cu та Pb у поверхневому шарі ґрунтів досліджених селітебних територій. За впливу $AlCl_3$ збільшується частка клітин на стадії анафази; $CdCl_2$ — на стадії профази; Na_2SeO_3 — на мета- і анафазній стадіях; рентгенівського опромінення — на стадії телофази. Щодо здатності індукувати частоту аберантних анафаз, можна побудувати рейтинговий ряд: Na_2SeO_3 ($3{,}75\times10^{-6}$ М) > $AlCl_3$ ($3{,}86\times10^{-5}$ М) > $CdCl_2$ ($8{,}44\times10^{-5}$ М). Доза опромінення $9{,}03\times10^{-3}$ С/кг призводить до частоти хромосомних аберацій, аналогічно до дії $AlCl_3$ ($3{,}86\times10^{-4}$ М) і Na_2SeO_3 ($8{,}34\times10^{-6}$ М). За високих концентрацій алюмінію відмічено збільшення анафаз з фрагментами та з двома-трьома мостами.

Ключові слова: *порушення, мітотична активність, мутагенна активність, апікальна меристема, мітотичний індекс, селитебні території, рухомі форми важких металів.*

ВСТУП

Зі збільшенням техногенного навантаження на компоненти довкілля актуалізується необхідність оцінки впливу на біологічні системи, пошуку біологічних маркерів для прогнозування росту і розвитку рослин на ранніх етапах онтогенезу, збільшується інтерес до експериментальних моделей, які дають змогу проводити дослідження *in vivo* та зростає потреба у чутливих інструментах моніторингу токсичності [1]. Це стає можливим завдяки розробці та впровадженню систем моніторингу, які допомагають адекватно оцінити генетичний ризик для організмів. У реальних умовах дуже складно передбачити реакцію організмів на різноманітні природні та техногенні чинники, використовуючи лише лабораторні дослідження. З урахуванням

© О.В. Мудрак, Т.В. Морозова, 2024

значного рівня забруднення в Україні, дослідження мутаційної мінливості в різних екологічних зонах стає актуальним. Особливої уваги заслуговує вивчення меристематичних клітин, поділ яких є основою росту. Аналіз цитогенетичних характеристик дає змогу простежити зміни ще до їх фенотипового прояву. З огляду на це, саме показники мітотичної активності меристем можуть стати маркерними для прогнозування швидкості ростових процесів. Спостереження за зростаючою спонтанною мутаційною мінливістю та виявлення різниць у рівні мутацій між регіонами свідчать про можливу специфіку забруднення.

Мета роботи — визначення спонтанного рівня цитогенетичних порушень у меристематичних клітинах первинних коренів біоіндикаторів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Біомаркери можуть виступати індикаторами відхилень від нормального стану, які не завжди дають можливість виявити в інтактному організмі [2]. Для належного аналізу впливу, встановлення причинно-наслідкових зв'язків, ідентифікації певних груп забруднювальних речовин та моніторингу стану компонентів довкілля необхідно використовувати термін «стресори». Це дасть можливість врахувати вплив біотичних та абіотичних чинників на організми. Поділ клітин є фундаментальним процесом клітинного росту, важливим для екологічної рівноваги. Реплікація ДНК у S-фазі передує мітозу, який, за нормальних умов, призводить до повного поділу клітини. Мітотична активність пов'язана з інтенсивністю клітинного росту та має ключове значення для екологічної динаміки [3]. Мітоз включає чотири основні етапи: профазу, метафазу, анафазу і телофазу. Перед мітозом клітини також можуть перебувати у фазі підготовки (G_1, S і G_2) циклу клітинного поділу. Фаза підготовки (G) передує фазі S (реплікація ДНК), і потім відбувається мітоз. Визначення мітотичного індексу у меристематичних зонах допомагає оцінити стан та активність клітин [4] і може слугувати біомаркером цитотоксичності [5], заснований на збільшенні/зменшенні швидкості поділу клітин [6].

Вивченню мітотичного індексу для оцінки цитотоксичності присвячені праці Kato T.A., Haskins J.S. [3], Ristea M.E., Zarnescu O. [4], Alaguprathana M., Poonkothai M., Al-Ansari M.M. [5], Jain P., Singh P., Sharma H.P. [7], Debnath B., Paul C., Debnath A., Saha D. [9], Rai P.K. [10], Roy A., Bhattacharya T., Kumari M. [11]. За зниження значень нижче 50% від контролю діагностується сублетальний ефект, нижче 22% — летальний [7]. Зниження мітотичного індексу зазвичай пов'язують із пригніченням синтезу ДНК [8; 9] або зупинкою G_2 фази [10]. З іншого боку, підвищення мітотичного індексу може бути результатом скорочення часу, необхідного для репарації ДНК, що свідчить про скорочення тривалості мітотичного циклу, або неконтрольовану проліферацію клітин і може призвести до утворення пухлини [10]. Поряд із мітотичним індексом використовують показник активного мітотичного індексу:

$$AMI = \frac{мета\text{-} + ана\text{-}}{про\text{-} + мета\text{-} + ана\text{-} + телофаза} \cdot 100\%.$$

Мітотичний індекс (MI) застосовують для оцінки токсичності хрому [10], наночастинок оксиду цинку [11], хлориду міді [12], алюмінію [13], інсектицидів [14], хлорпірифосом, бензолом, оксидами азоту, озоном, діоксидом сірки [8]. Ще одним напрямом використання MI є вивчення алелопатії, зокрема на регуляторах росту, зокрема для тестування антипроліферативного потенціалу екстрактів *Terminalia arjuna*, *Moringa oleifera* [9]; *Brassica juncea*, *Zanthoxylum limonella* [14], *Schinus* spp. [15]. Вищі рослини є ефективними моделями для виявлення мутагенів у навколишньому середовищі. Allium-тест корисний для оцінки впливу полютантів на клітинний поділ та ДНК (аберації хромосом, мікроядра). Це тест на кластогенність [16], особливо інформативний для скринінгу, моніторингу та виявлення кластогенності мутагенів

навколишнього середовища, включаючи забруднювачі атмосфери, води та ґрунту [17].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Визначення мутагенної активності здійснювали методом цитогенетичного аналізу меристематичних клітин первинних коренів проростків *P. sativum*, *R. sativus* та *A. cepa*. Насіння пророщували в чашках Петрі за температури 24–26°С. Фіксацію та фарбування матеріалу проводили за стандартною методикою [18; 19]. Первинні корені завдовжки 0,8–1,0 см фіксували впродовж 1,5 год в «оцтовому алкоголі» та піддавали мацерації (1 н HCl). Виготовляли тимчасові давлені препарати апікальної меристеми коренів, забарвлених ацетоорсеїном. Мітотичний індекс (MI) розраховували як відношення клітин, які перебували у мітозі, до загальної кількості клітин у полі зору. Розраховувати індекси фаз мітозу (тривалість перебігу фаз), як відношення кількості клітин у певній фазі до загальної кількості клітин:

$$K_{метафаза} = \frac{метафаза}{(інтерфаза + профаза + анафафаза + телофаза)}. \quad (1)$$

Коефіцієнт фаз:

$$КФ = \frac{профаза + метафаза}{анафафаза + телофаза}. \quad (2)$$

Профазний індекс:

$$I = \frac{профаза}{метафаза + анафафаза + телофаза}. \quad (3)$$

З метою уніфікації значень мітотичного індексу (MI) клітин кореня біоіндикатора розраховували відсоток зміни мітотичного індексу (% MI_C). Цей показник відображає відсоток клітин у мітозі за певної концентрації речовини, порівняно з відповідним відсотком у контролі.

$$\% \; MIA(C) = \frac{100 \cdot MI\%(C)_i}{MI\%_{control}}. \quad (4)$$

Зменшення % MIA(C) відображає зменшення кількості клітин у мітозі, і, як наслідок, зниження життєздатності клітин. Відповідно до ISO 10993-5:2009 речовина вважається нетоксичною, під час загибелі <30% клітин (життєздатність ≥70%) [20]. Ана-телофазним методом проаналізовано по 25 препаратів у кожному варіанті дослідження. Прораховано кількість нормальних клітин на стадії ана-телофази і клітин з різними типами цитогенетичних порушень. Всього пронаналізовано по 20000 клітин на вибірку.

Моніторинг здійснювали у польових та лабораторних умовах на території Чернівецької обл. У межах фізико-географічних областей визначені пункти моніторингу й фонові території [13].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Наразі серйозну тривогу викликають генетичні наслідки забруднення компонентів довкілля. Окрім радіаційного впливу, алкілуючі агенти, пестициди та важкі метали стають додатковою загрозою для живих організмів. Ці речовини, хоч і не виявляються дуже токсичними, але можуть завдати шкоди геному та викликати патологічні зрушення в організмі. Один із методів оцінки впливу середовища на спадковість та передбачення темпів мутаційного процесу є цитогенетичний моніторинг [8]. Забруднювальні речовини стимулюють тривалість фаз клітинного поділу, що передусім зумовлює загальне збільшення тривалості циклу. Біотестування на клітинному рівні полягає у вивченні важливого біологічного процесу клітинного поділу [13]. Один із ключових показників цього процесу — мітотичний індекс (MI). Значення цього показника у кореневих меристемах *A. cepa* коливається від 21 до 37%, з фоновим значенням 35%. Модельні дослідження засвідчили вірогідне зниження рівня мітотичної активності меристем додаткових коренів *A. cepa* у багатьох моніторингових пунктах (*рис. 1*).

Відмічено, що більшість ґрунтів характеризується порушенням процесу поді-

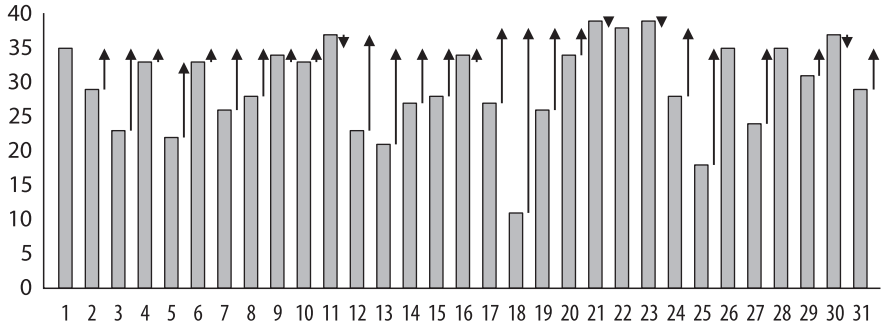


Рис. 1. Мітотичний індекс меристем додаткових коренів *A. cepa*, отриманих на ґрунтах моніторингових пунктів

лу клітин. Деякі дослідники виявили, що низькі концентрації Cu, Pb, Ni та Al можуть стимулювати активність мітозу [21]. Крім того, це може бути зумовлено не прискоренням клітинного поділу, а сповільненням проходження різних фаз мітозу на тлі збільшення частки профаз.

На ґрунтах з інгібованою мітотичною активністю спостерігалася зміна пропорції клітин у фазах мітозу. Зокрема, збільшувався відсоток клітин на стадії метафази, або на стадіях мета- та телофази, профази або на стадіях ана- та телофази (*рис. 2*).

Формування профазного блоку пов'язують із дією солей цинку та купруму, які впливають на процес клітинного поділу, збільшуючи тривалість різних стадій цього процесу. Так, іони купруму можуть пошкоджувати молекули ДНК шляхом однониткових і подвійних розривів, а також зшивок ДНК-білок, що перешкоджає нормальній конденсації хроматину. Це може сприяти до накопичення клітин у профазі.

Виявлено зменшення кількості клітин у метафазі у меристематичних клітинах *R. sativus*, що може бути наслідком збільшення частки клітин у телофазі — 29% (у контролі — 15%) та/або анафази — 22% (у контролі — 10%). Затримка клітин на стадії анафази може відбуватися за впливу солей алюмінію. Відмічають програмовану загибель клітин [22], особливо токсичним є такий стрес на кислих ґрунтах. Показано появу фрагментів і мостів у анафазі/телофазі [11; 21], зниження мітотичного індексу. Дослідження щодо впливу алюмінію проводилися для таких видів, як *Hordeum vulgare* L., *Triticum aestivum* L., *Arabidopsis*

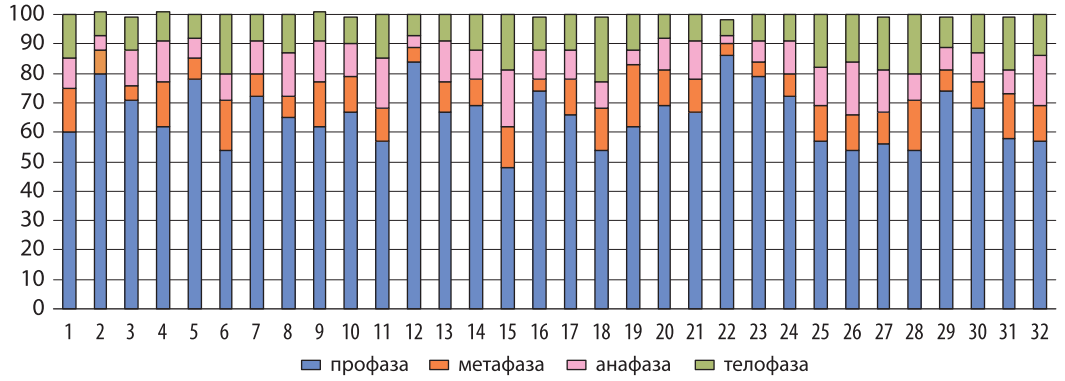


Рис. 2. Співвідношення фаз мітозу у меристемах коренів біоіндикаторів

thaliana (L.) Heynh, *Allium sativum* L. [11], *Allium cepa* L., *Sorghum bicolor* (L.) та *Zea mays* L. [22]. У наших попередніх дослідженнях [13] встановлено перевищення фонового значення рухомої форми цього елементу у ґрунтах селітебних територій в 2,7 раза. В світлі літературних даних щодо антагонізму алюмінію та кальцію гіпотеза про його вплив на утворення ахроматинового веретена видається досить ймовірною. Збільшення клітин на стадії профази спостерігався на тлі пригнічення мітотичної активності.

Кількість клітин у мета-, ана- та телофазі становила 21% від загальної кількості клітин, що діляться. Результати порівняльного аналізу співвідношення фаз мітозу кореневих меристем *A. cepa* свідчать про достовірне збільшення відсотку профаз на ґрунтах селітебних територій. Відсоток клітин, що перебували на цій стадії, варіював у межах 71–84% проти 60% у контролі. Затримка клітин на стадії профази простежується на тлі пригнічення мітотичної активності. Співвідношення клітин на стадіях мітозу у меристематичних клітинах *A. cepa* виявило подібну тенденцію з *R. sativus*, де кількість клітин на стадії профази становила 48% (у контролі — 60%). Це спостерігалося на тлі збільшення кількості клітин на стадії анафази до 21% (у контролі — 16%) та телофази — 17% (у контролі — 12%). На деяких ґрунтах відзначено достовірне збільшення перебування клітин на стадіях мета- та телофази та зменшення їх кількості на стадії анафази (9% порівняно з контролем 16%). Для *A. cepa* сума клітин, що знаходилися у мета- ана- та телофазі, сягала 16–22% від загальної кількості клітин, що діляться.

З метою об'єктивної оцінки залежності змін тестових показників від абіотичних чинників застосовано кореляційний та регресійний аналізи (*табл. 1*).

Дослідження підтвердили гіпотезу, яку висловили деякі автори [21; 22], щодо впливу солей цинку на збільшення кількості клітин, що перебувають на стадії профази. Виявлено сильний прямий кореляційний зв'язок (r=0,72) між вмістом рухомих форм Zn у поверхневому шарі ґрунтів та тривалістю профази, а також помірний рівень кореляції (r=0,53...0,59) між концентрацією рухомих форм Cu та Pb й відсотком клітин на стадії профази у *R. sativus.*

Відмічено зворотний кореляційний зв'язок (r=–0,68...–0,53) між тривалістю

Таблиця 1. **Кореляційна матриця залежності тест-ознак біоіндикаторів від абіотичних чинників на селітебних територіях**

	Cu	Zn	Ni	Fe	Pb	Mn	Al
Raphanus sativus subsp. *radicula* (Pers.) DC.							
Профаза	**0,53**	**0,72**	0,37	0,32	**0,59**	0,18	0,06
Метафаза	–0,43	**–0,68**	–0,36	–0,23	**–0,53**	–0,14	–0,18
Анафаза	–0,28	–0,47	–0,35	–0,35	**–0,57**	–0,29	–0,09
Телофаза	–0,39	**–0,51**	–0,16	–0,08	–0,20	0,06	–0,04
МІ	0,04	–0,09	0,07	–0,20	0,12	–0,27	–0,28
Довжина кореня	–0,08	–0,12	–0,46	–0,29	–0,20	**–0,52**	**–0,57**
Allium cepa L.							
Профаза	0,44	**0,54**	0,44	0,31	**0,54**	0,10	0,37
Метафаза	–0,37	–0,43	–0,16	–0,07	–0,26	0,18	–0,31
Анафаза	–0,31	–0,33	–0,42	–0,28	**–0,63**	–0,07	–0,20
Телофаза	–0,39	**–0,59**	–0,45	–0,34	–0,39	–0,32	–0,38
МІ	–0,01	–0,16	–0,22	–0,32	–0,09	–0,45	–0,43
Довжина кореня	–0,01	–0,33	**–0,50**	–0,01	–0,30	–0,46	**–0,58**

метафази мітозу та вмістом рухомих форм Zn та Pb у поверхневому шарі ґрунтів. Також визначено помірний рівень зворотної кореляційної залежності ($r = -0,57$) між тривалістю анафази та вмістом рухомих форм Pb; між вмістом рухомих форм Zn та тривалістю телофази. Кореляція між величиною мітотичного індексу у коренях проростків *R. sativus* та концентрацією рухомих форм важких металів та алюмінію у поверхневому шарі ґрунтів виявилася не значущою ($r < 0,50$). Узагальнюючи наш аналіз, підтверджено значущий вплив (0,72) концентрації рухомих форм Zn на формування профазного блоку, проте не слід ігнорувати інші невраховані чинники ґрунту. Аналіз взаємозв'язків між цитогенетичними показниками меристем додаткових коренів *A. cepa* та вмістом рухомих форм важких металів і алюмінію у поверхневому шарі ґрунтів засвідчив середнього рівня прямий кореляційний зв'язок ($r = 0,52...0,54$) між концентрацією Zn та Pb та тривалістю профази; вмістом рухомих форм Pb і тривалістю анафази — високий рівень зворотного кореляційного зв'язку ($r = -0,63$). Крім того, визначено середній рівень зворотної кореляційної залежності ($r = -0,59$) між тривалістю телофази концентрацією рухомих форм цинку у поверхневому шарі ґрунту. Кореляція між коефіцієнтами концентрації рухомих форм елементів і довжиною головного кореня *A. cepa* носила зворотно пропорційний характер. До того ж на ріст кореня у довжину істотно впливали рухомі форми нікелю та алюмінію. Між даними показниками визначено середній рівень зворотної кореляційної залежності ($r = -0,50...-0,58$).

Отже, результати кореляційного аналізу щодо залежності цитогенетичних показників від концентрації рухомих форм деяких елементів у поверхневому шарі ґрунтів селітебних територій виявив значущий вплив (0,72) цинку на формування профазного індексу. Для вивчення впливу комбінованої фітотоксичної дії рухомих форм важких металів та алюмінію у поверхневому шарі ґрунту (X) на тест-ознаками видів-біоіндикаторів (Y), провели множинний регресійний аналіз. Під час формування вихідної матриці даних ввели значення аргументу відповідно до такої послідовності: X_1 — вміст рухомих форм Cu у поверхневому шарі ґрунтів; X_2 — Zn; X_3 — Ni; X_4 — Fe; X_5 — Pb; X_6 — Mn; X_7 — Al. Отримані рівняння регресійного аналізу між кількістю клітин, що перебували на стадії профази та коефіцієнтами концентрації рухомих форм важких металів у поверхневому шарі ґрунтів селітебних територій, можна представити у вигляді:

R. sativus:

$$Y = 53,6 - 1,4X_1 + 0,5X_2 + 18,2X_5 \ (r = 0,8).$$

A. cepa:

$$Y = 54,2 + 0,27X_2 \ (r = 0,8).$$

Найбільший вплив на довжину кореня *R. sativus* виявляють Cu, Zn та Pb. Результати багатофакторного регресійного аналізу для кількості клітин, що перебували на стадії метафази *R. sativus* можна подати у вигляді рівняння:

$$Y = 12,3 + 0,3X_1 - 0,1X_2 - 4,1X_5 \ (r = 0,7).$$

Множинний регресійний аналіз встановив зв'язок між кількістю клітин на стадії анафази, та вмістом рухомих форм важких металів та алюмінію у поверхневому шарі ґрунтів селітебних територій, відображений у рівняннях:

R. sativus:

$$Y = 17,6 + X_1 - 0,2X_2 - 12,2X_5 \ (r = 0,7).$$

A. cepa:

$$Y = 18,1 + 0,57X_1 - 9,1X_2 \ (r = 0,8).$$

Кількість клітин на стадії анафази виявила пряму кореляційну залежність із вмістом рухомої форми Cu у поверхневому шарі ґрунтів. У той самий час вміст рухомих форм Zn та Al проявив зворотну кореляційну залежність, що свідчить про їхню негативну роль у зменшенні кількості клітин на цій фазі. Щодо клітин на стадії телофази у меристемах додаткових коренів *A. cepa* отримано рівняння:

$$Y = 16,2 - 0,12X_2 \ (r = 0,9).$$

Як і у випадку з іншими фазами, найбільший вплив мають рухомі форми Zn,

встановлено зворотну кореляційну залежність.

Токсичність важких металів зумовлена їх здатністю інгібувати ферменти, викликати окислювальний стрес і пригнічувати антиоксидантні механізми, що призводить до пошкодження ДНК [23]. Біотестування впливу деяких елементів на цитогенетичні показники *P. sativum* показало, що усі використані дози хлориду алюмінію мали кластогенний ефект, що свідчить про можливе недооцінення рівня мутагенності цього елементу. Частота аберантних анафаз не виявила прямої лінійної залежності від концентрації $AlCl_3$. Однак встановлено, що алюміній має специфічну здатність утримувати клітини на стадії анафази. Збільшення частки клітин на стадії анафази спостерігалося пропорційно збільшенню концентрації $AlCl_3$ (*рис. 3*). Алюміній є третім за поширеністю елементом у земній корі та основним чинником, що обмежує ріст рослин на кислих ґрунтах. На відміну від $AlCl_3$, $CdCl_2$ проявив три різних діапазони концентрацій, що впливають на частоту утворення аберантних анафаз, зміна частоти — $3{,}38\times10^{-5}$ до $6{,}71\times10^{-5}$ М, стимулювання — за $8{,}44\times10^{-5}$ М. Усі досліджені дози рентгенівського випромінювання збільшували частоту утворення аберантних анафаз. Пік стимуляції простежувався на другій за величиною потужності $3{,}61\times10^{-3}$ С/кг. Незважаючи на різницю в середніх значеннях, не встановлено статистично значущої різниці за критерієм Стьюдента, що може пояснюватися мінливістю. Особливістю впливу опромінення на меристематичні клітини *P. sativum* є збільшення відносної частки клітин на стадії телофази і значне зменшення на стадії метафази.

Доза опромінення $9{,}03\times10^{-3}$ С/кг призводить до частоти аберантних анафаз, подібно до дії $AlCl_3$ ($3{,}86\times10^{-4}$ М) і Na_2SeO_3 ($8{,}34\times10^{-6}$ М). Водночас менші дози рентгенівського опромінення викликали високу

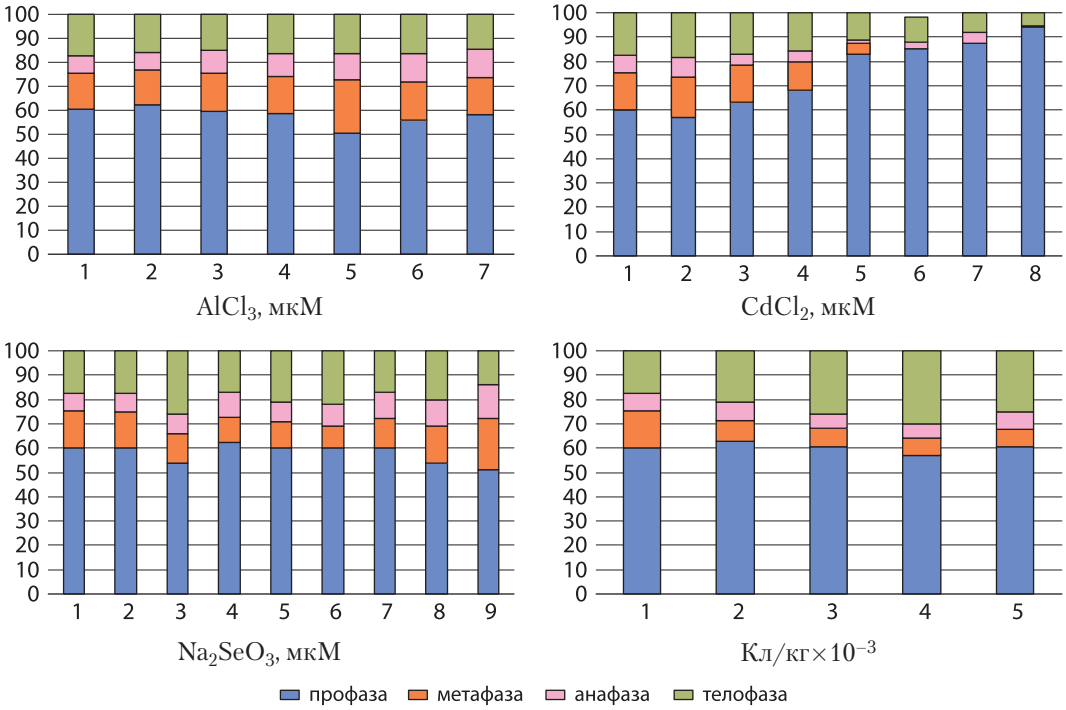


Рис. 3. Співвідношення фаз мітозу в меристематичних клітинах *Pisum sativum* L. за дії різних стресових чинників

Таблиця 2. **Коефіцієнти кореляції Пірсона**

	$AlCl_3$	$CdCl_2$	Na_2SeO_3	Опромінення
Профаза	0,202	–0,090	0,053	–0,097
Метафаза	–0,352	–0,786	–0,682	–0,647
Анафаза	–0,434	–0,761	–0,344	–0,267
Телофаза	–0,189	–0,860	–0,478	0,544

частоту аберантних анафаз, що підтверджує гіпотезу про енергетичну залежність виходу генетичних змін від дози опромінення. Згідно з цим, у межах відносно широкого діапазону потужності опромінення існує зворотна залежність між частотою мутацій і потужністю дози. Обраний нами інтервал дози знаходиться в цих межах. Аналіз коефіцієнтів кореляції Пірсона між концентрацією $AlCl_3$ та кількістю клітин на стадіях поділу показав існування слабкої залежності (*табл. 2*).

Значення коефіцієнтів кореляції між концентрацією $CdCl_2$ та Na_2SeO_3 вказують на від'ємний зв'язок, що може свідчити про зменшення кількості клітин на стадіях поділу за зростання концентрації цих речовин. Щодо впливу рентгенівського опромінення, спостерігаються різні залежності: для про-, ана- та метафази — зворотна кореляція, тоді як для телофази — пряма залежність. Для встановлення математичного зв'язку між незалежною (концентрація/доза) та залежною змінною (кількість клітин) використали рівняння множинної регресії (*рис. 4*). Рівняння можна застосовувати щодо прогнозування кількості клітин на певній стадії поділу, які можуть надати загальну інформацію про вплив концентрації на кількість клітин.

Рівняння регресії $Y = -0{,}3276X^2 + 1{,}5482X + 58{,}513$, що описує залежність

$AlCl_3$ (X)	Y=0,0125X+7,5942, R^2=0,8619	X=(Y–7,5942)/0,0125	Кількість клітин у ***анафазі*** (Y)
$CdCl_2$ (X)	Y=–0,0547X+7,3495, R^2=0,6928	X=(Y–7,3495)/(–0,0547)	Кількість клітин у ***анафазі*** (Y)
$CdCl_2$ (X)	Y=0,331X+55,201, R^2=0,9263	X=(Y–55,201)/0,331	Кількість клітин у ***профазі*** (Y)
$CdCl_2$ (X)	Y=–0,1679X+17,875, R^2=0,884	X=(Y–17,875)/(–0,1679)	Кількість клітин у ***метафазі***
$CdCl_2$ (X)	Y=–0,1123X+19,559, R^2=0,9355	X=(Y–19,559)/(–0,1123)	Кількість клітин у ***телофазі***

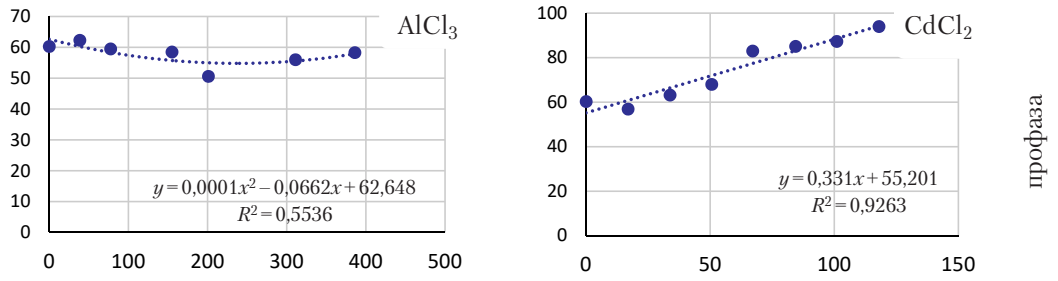


Рис. 4. Регресійна залежність від концентрації

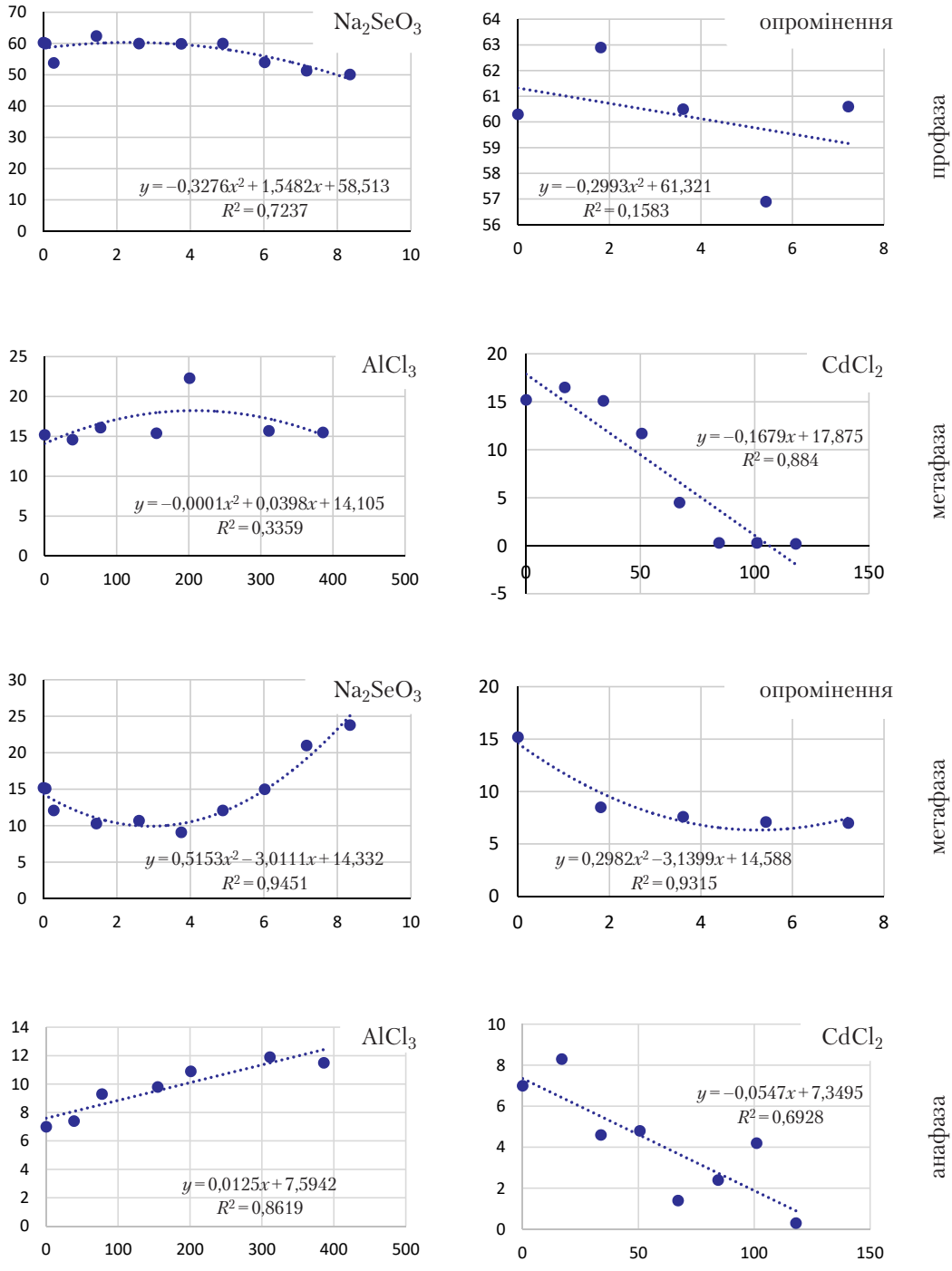


Рис. 4. Регресійна залежність від концентрації (продовження)

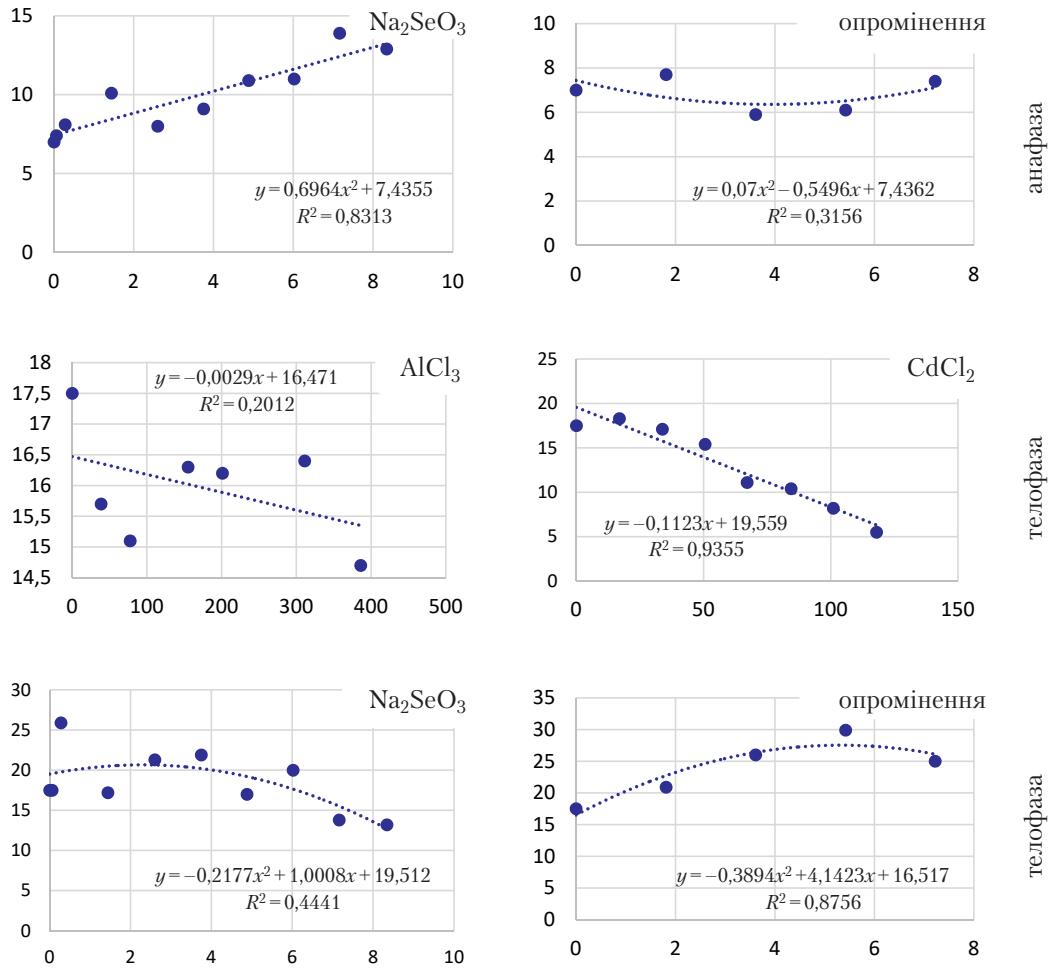


Рис. 4. Регресійна залежність від концентрації (закінчення)

між концентрацією Na_2SeO_3 та кількістю клітин у профазі, є поліноміальним і має коефіцієнт детермінації $R^2 = 0{,}7237$.

$$X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-1{,}5482 \pm \sqrt{1{,}5482^2 - 4 \cdot (-0{,}3276) \cdot 58{,}513}}{2 \cdot (-0{,}3276)}.$$

Для метафази вигляд регресії такий: $Y = 0{,}5153X^2 - 3{,}0111X + 14{,}332$. Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0{,}9451$ свідчить про високу точність моделі поліноміальної регресії.

$$X = \frac{3{,}0111 \pm \sqrt{3{,}0111^2 - 4 \cdot 0{,}5153 \cdot (14{,}332 - Y)}}{2 \cdot 0{,}5153}.$$

Рівняння регресії для анафази має вигляд: $Y = 0{,}6964X + 7{,}4355$, де X — це концентрація Na_2SeO_3; Y — кількість клітин. Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0{,}8313$; $X = (Y - 7{,}4355)/0{,}6964$. Ця функція дає змогу розраховувати значення концентрації Na_2SeO_3 (X) на основі відомої кількості клітин (Y).

Рівняння регресії для метафази: $Y = 0{,}2982X^2 - 3{,}1399X + 14{,}588$, де X — це доза опромінення; Y — кількість клітин. Коефі-

цієнт детермінації R^2=0,9315 свідчить про те, що ця поліноміальна модель дуже добре пояснює більшу частину варіації даних (близько 93,15%).

$$X = \frac{3{,}1399 \pm \sqrt{3{,}1399^2 - 4 \cdot 0{,}2982 \cdot (14{,}332 - Y)}}{2 \cdot 0{,}2982}.$$

Рівняння регресії для телофази: $Y = -0{,}3894X^2 + 4{,}1423X + 16{,}517$, де X — це доза опромінення; Y — кількість клітин. Коефіцієнт детермінації R^2=0,8756.

$$X = \frac{-4{,}1423 \pm \sqrt{-4{,}1423^2 - 4 \cdot (-0{,}3894) \cdot (16{,}517 - Y)}}{2 \cdot (-0{,}3894)}.$$

Виявлено як лінійні, так і поліноміальні функції. Зокрема,

	Al	Cd	Se
Профаза		$X = \frac{Y - 55{,}201}{0{,}331}$	
Метафаза		$X = \frac{Y - 17{,}875}{-0{,}1679}$	
Анафаза	$X = \frac{Y - 7{,}5942}{0{,}0125}$	$X = \frac{Y - 7{,}3495}{-0{,}0547}$	$X = \frac{Y - 7{,}4355}{0{,}6964}$
Телофаза		$X = \frac{Y - 19{,}559}{-0{,}1123}$	

Та поліномальні залежності:

Se	
Метафаза	$X = \frac{3{,}0111 \pm \sqrt{3{,}0111^2 - 4 \cdot 0{,}5153 \cdot (14{,}332 - Y)}}{2 \cdot 0{,}5153}.$
Опромінення	
Метафаза	$X = \frac{3{,}1399 \pm \sqrt{3{,}1399^2 - 4 \cdot 0{,}2982 \cdot (14{,}332 - Y)}}{2 \cdot 0{,}2982}.$
Телофаза	$X = \frac{-4{,}1423 \pm \sqrt{-4{,}1423^2 - 4 \cdot (-0{,}3894) \cdot (16{,}517 - Y)}}{2 \cdot (-0{,}3894)}.$

ВИСНОВКИ

Аналіз цитогенетичних даних вказує на значний вплив ґрунтів досліджених селітебних територій на рівень мітотичної активності, принаймні, одного з модельних біоіндикаторів, що призводить до зменшення мітотичного індексу. Виявлено, що на тривалість профази мають прямий вплив рухомі форми Zn та Pb, тоді як Cu діє зворотно. За результатами множинного регресійного аналізу встановлено, що найбільший вплив на ці процеси мають рухомі форми Zn, Cu та Pb у поверхневому шарі ґрунтів досліджених селітебних територій.

За впливу $AlCl_3$ збільшується частка клітин на стадії анафази; $CdCl_2$ — на стадії профази; Na_2SeO_3 — на мета- і анафазній стадіях; рентгенівського опромінення — на стадії телофази. Щодо здатності індуку-

вати частоту аберантних анафаз, можна побудувати рейтинговий ряд: Na_2SeO_3 ($3{,}75\times10^{-6}$ М) > $AlCl_3$ ($3{,}86\times10^{-5}$ М) > $CdCl_2$ ($8{,}44\times10^{-5}$ М). Доза опромінення $9{,}03\times10^{-3}$ С/кг зумовлює частоту хромосомних аберацій, аналогічно до дії $AlCl_3$ ($3{,}86\times10^{-4}$ М) і Na_2SeO_3 ($8{,}34\times10^{-6}$ М).

ЛІТЕРАТУРА

1. Banti C.N. and Hadjikakou S.K. Evaluation of toxicity with brine shrimp assay. *Bio Protoc*. 2021. No 11. P. 3895. DOI: https://doi.org/10.21769/BioProtoc.3895.
2. Lemos M.F.L. Biomarker Studies in Stress Biology: From the Gene to Population, from the Organism to the Application. *Biology*. 2021. No 10. P. 1340. DOI: https://doi.org/10.3390/biology10121340.
3. Kato T.A. and Haskins J.S. Mitotic Index Analysis. Methods. *Mol. Biol*. 2023. No 2519. P. 17–26. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2433-3_3.
4. Ristea M.E. and Zarnescu O. Effects of Indigo Carmine on Growth, Cell Division, and Morphology of *Allium cepa* L. *Root Tip*. *Toxics*. 2024. Vol. 12 (3). P. 194. DOI: https://doi.org/10.3390/toxics12030194. PMID: 38535927.
5. Alaguprathana M., Poonkothai M., Al-Ansari M.M. et al. Cytogenotoxicity assessment in *Allium cepa* roots exposed to methyl orange treated with *Oedogonium subplagiostomum* AP1. *Environ. Res*. 2022. Vol. 213 (113). P. 612. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113612.
6. Camilo-Cotrim C.F., Bailão E.F.L.C., Ondei L.S. et al. What can the *Allium cepa* test say about pesticide safety? A review. *Environ. Sci. Pollut. Res*. 2022. Vol. 29 (32). P. 48088–48104. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-022-20695-z.
7. Jain P., Singh P. and Sharma H.P. Anti-proliferative activity of some medicinal plants. *Int. J. Pharmacol. Pharm. Sci*. 2016. Vol. 3 (2). P. 46–52.
8. Sánchez-Moreiras M.J. Reigosa. Advances in Plant Ecophysiology Techniques. 2018. P. 230–240. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93233-0.
9. Debnath B., Paul C., Debnath A. and Saha D. Evaluation of cytotoxicity of *Terminalia arjuna* (Roxb.) Wight & Arn. and *Moringa oleifera* Lam. in root meristems cells of *Allium cepa* L. *J. Med. Plant. Stud*. 2016. Vol. 4 (3). P. 107–110. URL: http://surl.li/thcuj.
10. Rai P.K. Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016. Vol. 129. P. 120–136. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.012.
11. Roy A., Bhattacharya T. and Kumari M. Air pollution tolerance, metal accumulation and dust capturing capacity of common tropical trees in commercial and industrial sites. *Sci. Total Environ*. 2020. Vol. 722. P. 137622. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137622.
12. Can A.A., Isik G. and Yucel E. The effects of copper ($CuCl_2$) on mitotic cell division of Lebanon cedar (*Cedrus libani*). *Fresenius Environ. Bull*. 2016. Vol. 25 (1). P. 4324–4326.
13. Морозова Т.В. Різнорівнева біоіндикаційна оцінка слабкоурбанізованих селітебних територій Чернівецької області: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Чернівці, 2005. 23 с.
14. Charoenying P., Laosinwattana C. and Chotsaeng N. The Allelopathic Activity of Extracts and Isolated from *Spirulina platensis*. *Molecules*. 2022. Vol. 27. P. 3852. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules27123852.
15. Pawlowski Â., Kaltchuk-Santos E., Zini C.A. et al. Essential oils of *Schinus terebinthifolius* and *S. molle* (*Anacardiaceae*): Mitodepressive and aneugenic inducers in onion and lettuce root meristems. *S. Afr. J. Bot*. 2012. Vol. 80. P. 96–103. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sajb.2012.03.003.
16. Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів: Методичні рекомендації. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0116282-07#Text.
17. Ma R., Yan M., Han P. et al. Deficiency and excess of groundwater iodine and their health associations. *Nat Commun*. 2022. No 29. Vol. 13 (1). P. 7354. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-022-35042-6.
18. Морозова Т.В. Аспекти екологічного моніторингу. Київ, 2020. 380 с.
19. Milionis I., Banti C.N., Sainis I. et. al. Silver ciprofloxacin (CIPAG): a successful combination of chemically modified antibiotic in inorganic-organic hybrid. *J. Biol. Inorg. Chem*. 2018. No 23. P. 705–723. DOI: https://doi.org/10.1007/s00775-018-1561-9.
20. Rossos A.K., Banti C.N., Raptis P.K. et. al. Silver nanoparticles using eucalyptus or willow extracts (AgNPs) as contact lens hydrogel components to reduce the risk of microbial infection. *Molecules*. 2021. Vol. 26. P. 5022. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules26165022.
21. Tzima C.S., Banti C.N. and Hadjikakou S.K. Assessment of the biological effect of metal ions and their complexes using *Allium cepa* and *Artemia salina* assays: a possible environmental implementation of biological inorganic chemistry. *J. Biol. Inorg. Chem*. 2022. Vol. 27 (7). P. 611–629. DOI: https://doi.org/10.1007/s00775-022-01963-2.
22. Liu H.-L. and Shen Y.-S. The Impact of Green Space Changes on Air Pollution and Microclimates: A Case Study of the Taipei Metropolitan Area. *Sustainability*. 2014. No 6. P. 8827–8855. DOI: https://doi.org/10.3390/su6128827.
23. Gumpu M.B., Sethuraman S, Krishnan U.M. and Rayappan J.B.B. A review on detection of heavy metal ions in water an electrochemical approach. *Sens. Actuators B Chem*. 2015. Vol. 213. P. 515–533. DOI: https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.02.122.

REFERENCES

1. Banti, C.N. & Hadjikakou, S.K. (2021). Evaluation of toxicity with brine shrimp assay. *Bio Protoc, 11*, 3895. DOI: https://doi.org/10.21769/BioProtoc.3895 [in English].
2. Lemos, M.F.L. (2021). Biomarker Studies in Stress Biology: From the Gene to Population, from the Organism to the Application. *Biology, 10*, 1340. DOI: https://doi.org/10.3390/biology10121340 [in English].
3. Kato, T.A. & Haskins, J.S. (2023). Mitotic Index Analysis. *Methods Mol. Biol., 2519*, 17–26. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2433-3_3 [in English].
4. Ristea, M.E. & Zarnescu, O. (2024). Effects of Indigo Carmine on Growth, Cell Division, and Morphology of *Allium cepa* L. *Root. Tip. Toxics, 12 (3)*, 194. DOI: https://doi.org/10.3390/toxics12030194. PMID: 38535927 [in English].
5. Alaguprathana, M., Poonkothai, M., Al-Ansari, M.M. et al. (2022). Cytogenotoxicity assessment in *Allium cepa* roots exposed to methyl orange treated with *Oedogonium subplagiostomum* AP1. *Environ. Res., 213*, 113612. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113612 [in English].
6. Camilo-Cotrim, C.F., Bailão, E.F.L.C., Ondei, L.S. et al. (2022). What can the *Allium cepa* test say about pesticide safety? A review. *Environ. Sci. Pollut. Res., 29 (32)*, 48088–48104. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-022-20695-z [in English].
7. Jain, P., Singh, P. & Sharma, H.P. (2016). Antiproliferative activity of some medicinal plants. *Int. J. Pharmacol. Pharm. Sci., 3 (2)*, 46–52 [in English].
8. Sánchez-Moreiras, M.J. (2018). Reigosa. Advances in Plant Ecophysiology Techniques. (pp. 230–240). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93233-0 [in English].
9. Debnath, B., Paul, C., Debnath, A. & Saha, D. (2016). Evaluation of cytotoxicity of *Terminalia arjuna* (Roxb.) Wight & Arn. and *Moringa oleifera* Lam. in root meristems cells of *Allium cepa* L. *J. Med. Plant. Stud., 4 (3)*, 107–110. URL: http://surl.li/thcuj [in English].
10. Rai, P.K. (2016). Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 129*, 120–136. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.012 [in English].
11. Roy, A., Bhattacharya, T. & Kumari, M. (2020). Air Pollution Tolerance, Metal Accumulation and Dust Capturing Capacity of Common Tropical Trees in Commercial and Industrial Sites. *Sci. Total. Environ., 722*, 137622. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137622 [in English].
12. Can, A.A., Isik, G. & Yucel, E. (2016). The effects of copper ($CuCl_2$) on mitotic cell division of Lebanon cedar (*Cedrus libani*). *Fresenius Environ. Bull., 25 (1)*, 4324–4326 [in English].
13. Morozova, T.V. (2005). Riznorivneva bioindykatsiina otsinka slabkourbanizovanykh selytebnykh terytorii Chernivetskoi oblasti [Multilevel Bioindication Assessment of Sparsely Urbanized Residential Areas of Chernivtsi Region]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Chernivtsi [in Ukrainian].
14. Charoenying, P., Laosinwattana, C. & Chotsaeng, N. (2022). The Allelopathic Activity of Extracts and Isolated from *Spirulina platensis*. *Molecules, 27*, 3852. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules27123852 [in English].
15. Pawlowski, Â., Kaltchuk-Santos, E., Zini, C.A. et al. (2012). Essential oils of *Schinus terebinthifolius* and *S. molle* (*Anacardiaceae*): Mitodepressive and aneugenic inducers in onion and lettuce root meristems. *S. Afr. J. Bot., 80*, 96–103. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sajb.2012.03.003 [in English].
16. Ministry of Health of Ukraine. *Obstezhennia ta raionuvannia terytorii za stupenem vplyvu antropohennykh chynnykiv na stan obiektiv dovkillia z vykorystanniam tsytohenetychnykh metodiv: Metodychni rekomendatsii [Survey and zoning of the territory according to the degree of influence of anthropogenic factors on the state of environmental objects using cytogenetic methods: Methodical recommendations]* [in Ukrainian].
17. Ma, R., Yan, M., Han, P. et al. (2022). Deficiency and excess of groundwater iodine and their health associations. *Nat. Commun., 29, 13 (1)*, 7354. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-022-35042-6 [in English].
18. Morozova, T.V. (2020). *Aspekty ekolohichnoho monitorynhu [Aspects of environmental monitoring]*. Kyiv [in Ukrainian].
19. Milionis, I., Banti, C.N., Sainis, I. et. al. (2018). Silver ciprofloxacin (CIPAG): a successful combination of chemically modified antibiotic in inorganic-organic hybrid. *J. Biol. Inorg. Chem., 23*, 705–723. DOI: https://doi.org/10.1007/s00775-018-1561-9 [in English].
20. Rossos, A.K., Banti, C.N., Raptis, P.K. et. al. (2021). Silver nanoparticles using eucalyptus or willow extracts (AgNPs) as contact lens hydrogel components to reduce the risk of microbial infection. *Molecules, 26*, 5022. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules26165022 [in English].
21. Tzima, C.S., Banti, C.N. & Hadjikakou, S.K. (2022). Assessment of the biological effect of metal ions and their complexes using *Allium cepa* and *Artemia salina* assays: a possible environmental implementation of biological inorganic chemistry. *J. Biol. Inorg. Chem., 27 (7)*, 611–629. DOI: https://doi.org/10.1007/s00775-022-01963-2 [in English].
22. Liu, H.-L. & Shen, Y.-S. (2014). The Impact of Green Space Changes on Air Pollution and Microclimates: A Case Study of the Taipei Metropolitan Area. *Sustainability, 6*, 8827–8855. DOI: https://doi.org/10.3390/su6128827 [in English].
23. Gumpu, M.B., Sethuraman, S, Krishnan, U.M. & Rayappan, J.B.B. (2015). A review on detection of heavy metal ions in water an electrochemical approach. *Sens. Actuators B Chem., 213*, 515–533. DOI: https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.02.122 [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 07.05.2024

УДК 632.9:579.64:634.11:632.937 DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311186

МІКРОБНІ ПРЕПАРАТИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЧИСЕЛЬНОСТІ ФІТОФАГІВ: МЕХАНІЗМИ ДІЇ ТА ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ

А.С. Левішко, І.І. Гуменюк

Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: alodua2@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4037-1730
e-mail: gumenyuk.ir@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6692-0171

Широко відомо, що як основний метод регуляції чисельності фітофагів, у переважній більшості, використовуються саме синтетичні інсектициди. Однак, через швидко виникаючу резистентність до них, інсектициди є неефективними. Майже всі синтетичні препарати для захисту рослин від шкідливих комах є високотоксичними та повільно розкладаються в агроценозах і ґрунті, що завдає постійної і неминучої шкоди навколишньому середовищу. Відомо, що всі сучасні агротехнології вирощування сільськогосподарських культур включають застосування альтернативних екологічно безпечних методів контролю комах фітофагів за допомогою біопрепаратів. На користь цього свідчить прогресивна позитивна динаміка розвитку світового ринку біопестицидів. У цьому огляді продемонстровано екологічно безпечні та дієві шляхи контролю чисельності фітофагів за допомогою біопрепаратів. Описано особливості цих препаратів залежно від їх природи — бактеріальної, грибної та вірусної. Охарактеризовано основних представників продуцентів біопрепаратів, їх механізми дії на шкідливих комах, а також переваги та особливості в застосуванні. Детально розкрито механізм дії препаратів на основі Bacillus thuringiensis та показано можливість використання цього мікроорганізму для створення стійких до фітофагів ГМ-культур рослин. Визначено основи механізму дії ентомопатогенних грибів на фітофагів і схема зараження, розмноження та їх розповсюдження. Відзначено, що саме ентомопатогенні віруси, серед усіх ентомопатогенних мікроорганізмів є найбільш специфічними. Їм притаманна надзвичайна вибірковість патогенної дії, тобто здатність уражувати один або декілька видів членистоногих без шкоди для інших. Ця їх особливість є гарантією безпеки для нецільових організмів, незважаючи на те, що вони є успішними у боротьбі з фітофагами, їх складність у масовому виробництві та легка втрата властивостей у навколишньому середовищі робить їх менш поширеними серед аграріїв. Також показана важливість інтеграції різних методів боротьби проти комах шкідників та комбінації багатьох біопрепаратів для отримання максимальних врожаїв під час екологічно чистого вирощування рослин.

Ключові слова: *біопрепарати, пестициди, біоінсектициди, ентамопатогени, Bacillus thuringiensis, Streptomyces avermitilis, Beauveria, Metarhizium, інтегрований захист рослин.*

ВСТУП

Постійне збільшення застосування пестицидів у агроекосистемах з метою забезпечення продовольством населення, яке постійно зростає, викликає дедалі значне занепокоєння для здоров'я людини та навколишнього середовища. Більшість препаратів для захисту рослин від фітофагів є високотоксичними й повільно розкладаються в агроценозах і ґрунтах, та їх вкрай необхідно обмежувати у застосуванні для зменшення хімічного навантаження на агроценоз плодових культур [1–3].

Негативний вплив хімічних пестицидів на нецільові організми, безпеку харчових продуктів і розвиток стійкості комах змусили наукову спільноту зосередитися на розробці альтернативних екологічних заходів захисту. Вже давно відомо, що екологічно безпечною альтернативою хімічному впливу на екосистему є мікробіологічний контроль чисельності шкідливих організмів. Мікробні інсектициди містять активні

© А.С. Левішко, І.І. Гуменюк, 2024

комахопатогенні мікроорганізми, проте їх застосування часто схоже із використанням традиційних хімічних інсектицидів. Їх застосування є формою біологічного контролю [2–4]. Сучасні агротехнології вирощування сільськогосподарських культур включають застосування альтернативних екологічно безпечних методів контролю шкідників із допомогою біопрепаратів. На користь цього свідчить прогресивна позитивна динаміка розвитку світового ринку біопестицидів із прогнозованим щорічним зростанням на 14,7% [1].

Тому, **метою нашої роботи** було розкрити питання різноманітності мікробних препаратів, які використовують для боротьби зі шкідниками, їх механізмів дії, застосування та переваги.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

З огляду на те, що багаторічне використання синтетичних пестицидів призвело до змін біологічних і екологічних особливостей шкідників, а також їх етіології, стало вкрай актуальним питання екологічного й ефективного вирощування важливих сільськогосподарських культур. З'явилась гостра потреба щодо впровадження у використання біопрепаратів, які згодом набули неабиякого поширення. Існує низка досліджень щодо ефективності застосування біопрепаратів на основі певних мікроорганізмів. Так, наприклад, Гунчак В.М. [5] провів дослідження порівняння ефективності різних мікробних препаратів для захисту плодових насаджень від попелиця яблунева зелена (*Aphis pomi* (Degeer). Його дослідження засвідчили, що найбільш доцільно використовувати препарат Актарофіт (Аверсектин С), у концентрації 0,26%, який проявив найвищу ефективність, порівняно з іншими препаратами. Найнижчу ефективність, у цьому досліді, на шкідника виявлено за застосування препарату Колорадоцид (спори *Bacillus thuringiensis*). Групою українських вчених було розроблено модель екологічно безпечного захисту плодових дерев від фітофагів, яка адаптована до певних ґрунтово-кліматичних умов та особливостей фітосанітарного стану певного регіону України [6]. Вони показали, що існуючий асортимент біопрепаратів для захисту від шкідливих комах дає змогу розробити систему, що забезпечує ефективний екологічний захист рослин.

Загалом питання захисту сільськогосподарських культур від шкідливих фітофагів постійно зберігає свою актуальність. І, заважаючи на це, регулярно з'являються публікації щодо важливості екологічно безпечних методів контролю чисельності фітофагів у сучасних агротехнологіях, а також стосовно екологічної структури шкідливого ентомокомплексу важливих агроценозів України [1; 7].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Ентомопатогенні препарати є досить розповсюдженими серед біопрепаратів. Самі ентомопатогени, зазвичай, є елементами природного біоценозу та складають основу біопрепаратів проти шкідливих фітофагів. Залежно від своєї природи вони бувають: бактеріальні, грибні та вірусні. Важливою перевагою у їх використанні є те, що вони сприяють збереженню природного різноманіття, яке забезпечує участь природних агентів у регуляції чисельності шкідливих об'єктів та спрямовує до відновлення природної саморегуляції біоценозів.

Доволі часто мікробні інсектициди можуть містити токсичні сполуки, отримані з мікроорганізмів, але фактично не мають мікроорганізмів як активного інгредієнта. Багато бактерій та грибів природно синтезують хімічні речовини, які є токсичними для інших організмів [8; 9]. Такі мікроорганізми вирощують у ферментерах, після цього з біомаси видобувають токсини, концентрують, очищають і готують препаративні форми комерційних продуктів. Прикладом таких продуктів можуть бути спинозини та авермектини [10; 11]. Варто пам'ятати, що ці мікробні метаболіти — це компоненти живої природи та згідно з законом біологічної буферності, вони, на відміну від хімічних речовин, не можуть

тривало зберігатися в природі і тим паче накопичуватися. Все це робить цю групу біопрепаратів (біоінсектицидів) ідеальним рішенням для контролю чисельності шкідливих комах.

Інсектициди на основі бактерій. Ентомопатогенні бактерії давно відомі як регулятори чисельності шкідливих фітофагів у природних ценозах. Встановлено понад 100 видів бактерій патогенних для комах фітофагів. Серед ентомопатогенних груп бактерій *Bacillus thuringiensis*, *B. popilliae*, *B. sphaericus* і *B. cereus* найбільш широко використовуються як сучасні засоби біоконтролю. Родини бактерій, що мають патогенні властивості для комах, зокрема *Bacillaceae*, *Clostridiaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Micrococcaceae*, *Pseudomonadaceae* і *Streptococcaceae* (*рис. 1*) [3; 4; 8].

Деякі з цих родин бактерій дуже смертельні для різних шкідливих фітофагів. Так, наприклад *Streptomyces* spp. виробляє такі речовини, як антиміцин А, флавенсоміцин, макротетраліди, піерицидини та прасинони, які є токсичними для комах-шкідників. Авермектини, що виробляються *Streptomyces avermitilis*, демонструють його вплив на рецептор гамма-аміномасляної кислоти (ГАМК), присутній у периферичній нервовій системі комах, що пригнічує нейротрансмісію та зумовлює нервово-м'язовий параліч. Інсектицид спинозин-А, отриманий із *Saccharopolyspora spinosa*, є високоефективним проти двокрилих та лускокрилих комах [9–11].

Серед цих вірулентних родин *Bacillaceae* є рід *Bacillus* із видами *B. popilliae*, які спричиняють захворювання жуків-скарабеїв та *B. sphaericus* дуже хвороботворний для комарів. Та найпоширенішого визнання отримала бактерія *Bacillus thuringiensis* (Bt). На ринку є понад 40 його комерційних форм. Цей мікроорганізм становить 75–85% від світового обсягу біопестицидів та 1% від загального обсягу інсектицидів. Відомо та ідентифіковано понад 70 його різновидів, які є ефективними проти фітофагів і кожен рік поповнюється новими серотипами. Вони володіють високою селективністю, безпечністю для корисної ентомофауни, риб та теплокровних [12–14].

Bacillus thuringiensis є ґрунтовими мікроорганізмами здатними до спороутворення, основною особливістю яких є формування білкових кристалів на стадії спорулювання. Вперше виділив цю бактерію із мертвої гусені шовкопряда японський вчений Шигетан Ішівата у 1901 р. та назвав її *Bacillus sotto*, за назвою хвороби гусені — «хвороби сотто». Пізніше, в 1911 р. Ернст Берлі-

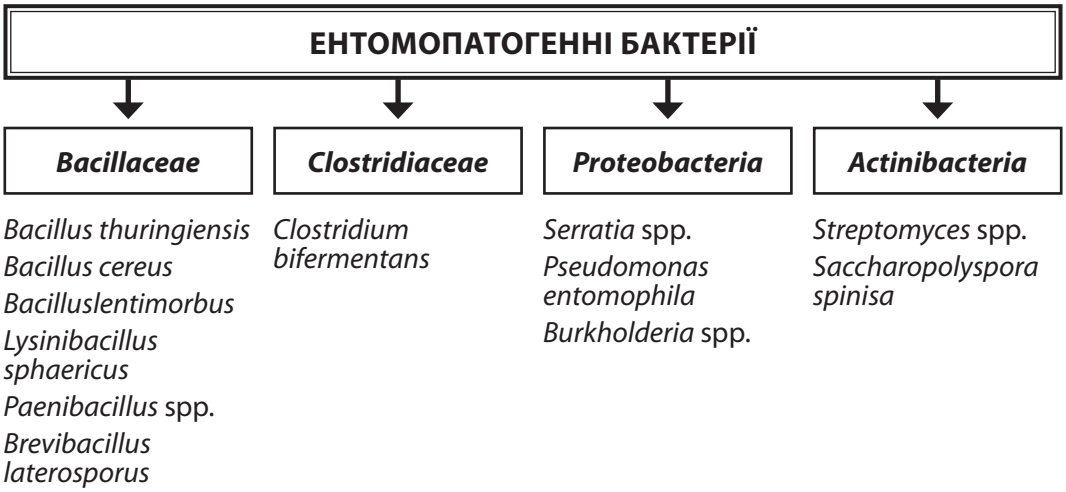


Рис. 1. Основні представники ентомопатогенних бактерій

Примітка: сформовано автором.

нер виділив цей штам із мертвих личинок Вогнівки млинарської (*Ephestia kuehniella*) (Zeller), яку знайшов у млині в Тюрінгії, на честь чого й назвали її. У 1953 р. кристали, які утворює ця бактерія, названо параспоральними, після чого було продемонстровано їх інсектицидну дію та білковий склад. Перший комерційний інсектицид на основі цього мікроорганізму Sporin, був створений у 1938 р. у Франції та використовувався для контролю чисельності амбарних вогнівок [14; 15].

B. thuringiensis зустрічається повсюдно в природі та його ізоляти виявляються на різних континентах у більшості країн світу. Препарати на основі цього мікроорганізму, як і препарати створені на основі інших бактерій, є безпечними для людей, теплокровних тварин, не цільових організмів та навколишнього середовища. Завдяки цьому, подібні біоінсектициди дозволені для використання за органічного агровиробництва, як за кордоном, так і в Україні, тому багато відомих виробників (як-от Valent BioSciences та Certis Biologicals LLC) випускають препарати на їх основі, наприклад: «Agree», «XenTari», «Dipel», «Deliver», «Javelin», «Lepinox», «BIO Genius Метабо», «Bio-Dart», а також «Скарадо-М», «Бітоксибацилін», «Колорадоцид», «Лепідоцид», «Актоверм» та ін.

Механізм дії препаратів на основі Bacillus thuringiensis. Інсектицидна дія цього мікроорганізму, а також його специфічність зазвичай обумовлюють або параспоральні токсини, що містять білкові кристали (Cry, Cyt), які продукуються бактеріями в стаціонарній фазі росту, або розчинними токсинами Vip та Sip, які виділяються вегетативними клітинами. Також у них є численні нетоксинові чинники вірулентності, як-от металопротеази, хітинази, амінополіолові антибіотики тощо. Такий набір чинників вірулентності діє різного ступеня та в різних поєднаннях на різні види комах. Різноманітні види білків Bt були ідентифіковані та позначені терміном Cry/Cyt/Vip (тип білка) з арабськими цифрами (1-й і 4-й ранги), великою (2-й ранг) і малою літерами (3-й ранг). Ця точна 4-рангова система імен для білків Bt призначається відповідно до відсотка ідентичності попарних амінокислот порівняно з попередніми токсинами. Bt-білки мають менш ніж 45, 78 і 95% подібності на первинному, вторинному і третинному рангах відповідно. Наразі у всьому світі підтверджено понад 100 різних класів білків Bt, зокрема підвиди Cry1-Cry78, Cyt1-Cyt3 і Vip1-Vip3. Так, різні білки Bt вважаються селективними для деяких конкретних цільових шкідливих фітофагів. Наприклад, білки Cry1Ab і Cry2Ab можуть викликати загибель Helicoverpa armigera (Hübner). Білки Cry1Ac/Cry3A/Cry9Ec1 активні проти *Plutella xylostella* (Linnaeus), а білок Cry7Aa2 може специфічно взаємодіяти з *Leptinotarsa decemlineata* (Say). Однак точний механізм дії білкових токсинів Bt досі не повністю вивчений. Загальноприйнято вважати, що білки Bt спочатку потрапляють у середину комахи через травний канал. Коли вони досягають середньої кишки комахи, білки Bt можуть бути розчинені та активовані завдяки протеолітичному ефекту протеаз, що змусить білки розтріскатися та вивільнити активовані фрагменти токсинів. Ці токсичні поліпептиди можуть зв'язуватися зі специфічними рецепторами на мембрані епітелію середньої кишки та утворювати пори з невибірковою проникністю, що призводить до лізису клітин через осмотичний шок і загибелі комах [8; 13; 15].

Відсутність токсичності цих кристалів для ссавців пов'язано із тим, що у них первинне перетравлення їжі відбувається за низьких показників pH. Під дією шлункового ферменту пепсину, для якого оптимальне значення pH 2, кристал руйнується до нетоксичної сполуки. Тому, цей токсин є токсичним лише для вузької ентомофауни та повністю безпечний для ссавців. У жука колорадського, метелика білого американського та інших видів листогризучих комах: листовійок, совок, плодожерок відсутня бар'єрна функція стінок кишківника, його вміст має лужний pH 8,4 і вище, а також присутні ферменти, що перетворюють протоксин на токсин. В ентомофагів, тоб-

то, комах, які не шкідливі для культурних рослин, теплокровних тварин та людини pH кишківника та травні ферменти значно відрізняються, що робить їх стійкими до дії *B. thuringiensis* — тобто несприйнятливими і до цього токсину.

Переваги використання Bacillus thuringiensis. Ефективність *B. thuringiensis* чудово було продемонстровано проти жука колорадського (*Leptinotarsa decemlineata* (Say) на картоплі у роботі Шерстобоєвої О.В. з співавт. [16]. У польовому досліді рослини картоплі автори обробляли препаратами на основі двох штамів *Bacillus thuringiensis* (Bt) і порівнювали їхню дію із хімічним інсектицидом кишкової дії Каліпсо, який вважається відносно нешкідливим з екологічної точки зору. Використані штами відрізняються тим, що штам 787 синтезує лише білковий кристал ендотоксину, а штам 994 — білковий ендотоксин та водорозчинний екзотоксин, дію якого можна порівняти з дією хімічних інсектицидів, тобто, дозволено спостерігати мутагенний ефект у наступних поколіннях мікроорганізмів і токсичність для більшого кола видів живих істот (для кожного визначається концентрацією токсину). Тому, в багатьох країнах заборонено використання бактерій-продуцентів екзотоксину для біозахисту та вважаються необхідними детальні їх дослідження. Як було встановлено, після обробки рослин біоінсектицидами, 97% комах гине лише на 10-ту добу, а за умов обробки хімічним препаратом Каліпсо — загибель усіх комах настає на 3-тю добу. На перший погляд, застосування хімічного пестициду ефективніше проти жука колорадського, якщо оцінювати лише за летальним ефектом. Однак, ті комахи, які вижили у першу добу після обробки, більш стійкі до хвороби порівняно з іншими, — але це хворі та інтоксиковані комахи, вони не гинуть, а просто погано почуваються та перестають харчуватися — це антифідантний ефект, проте це і є мета обробки інсектицидом — зберегти зелену масу картоплі, тобто зупинити процес харчування фітофага шкідника. Згодом ці комахи дають нове покоління неповноцінних, потворних особин, які через відсутність жувалець або органів пересування повітрям і рослиною не можуть харчуватися. Це тератогенний ефект. Личинки, що зазнали дії Bt починають відставати у розвитку (це фізіологічний ефект). Також було відмічено, що існує ще одна перевага цього біозахисту, яка часто не враховується під час розрахунку ефективності: загибель комахи викликається хворобою, яка майже завжди передається іншим. Тобто, особини, що вижили, своїми екскрементами забруднюють поверхню рослин, поїдаючи личинки, що знову вилупилися, заражаються і гинуть — це епізоотологічний ефект на популяційному рівні. Це істотно знижує загальну чисельність шкідливих комах. Хімічний препарат впливає лише на комах, що знаходяться тільки в момент обробки на рослинах. Також під час дії хімічних інсектицидів гине шкідлива та корисна ентомофауна. У посадках картоплі велике значення для природного регулювання чисельності шкідливих фітофагів, мають хижі комахи: сонечко семикрапкове (*Coccinella septempunctata* (Linnaeus) і щипавка звичайна (*Forficula auricularia* (Linnaeus). Також було показано, що пестицид Каліпсо знищує понад 30% сонечок семикрапкових (*Coccinella septempunctata* (Linnaeus), а за біозахисту зберігається їх чисельність на рівні контролю.

Загалом, розуміння дії токсинів *Bacillus thuringiensis* і того, як комахи реагують на атаку цих білків, дає можливість розробляти нові, більш ефективні Bt культури і препарати на їх основі. Тому, вбачається блискуче майбутнє у використанні білків Bt Cry для боротьби зі шкідливими комахами в сільському господарстві. Це може зменшити залежність аграріїв від хімічних інсектицидів, що матиме позитивний вплив та допоможе зберегти довкілля [1; 14].

Однак, також існують дослідження, які підкреслюють ентеропатогенний потенціал *B. thuringiensis* для людини, навіть у тих штамів, які загалом не відрізняються від інших ізолятів у прикладних тестах [17]. Тому, вважається, що застосування цих пестицидів справді може становити небезпеку для здоров'я людини. З іншого боку,

використання *B. thuringiensis* у сільському господарстві значно скоротилось застосування хімічних інсектицидів. І загалом, вважається, що заборона біопестицидів *B. thuringiensis* неможлива через велику кількість його різноманітних переваг. Однак, штами, що використовуються, мають бути дуже добре охарактеризовані (наприклад, секвенуванням цілого геному) і позначені, щоб надати точну інформацію про їх безпеку та усунути будь-яку можливу небезпеку для здоров'я людини. До того ж регулярне розрізнення *B. cereus* і *B. thuringiensis* є таким самим важливим, як і контрольоване застосування біопестицидів. Також вважається, що чітке маркування харчових продуктів, оброблених *B. thuringiensis*, може бути корисним для усіх споживачів [17].

Використання *Bacillus thuringiensis* для створення стійких ГМ-культур. Також треба відмітити, що із швидким розвитком технологій генетичної модифікації, кілька генів Bt навчилися закодовувати в різноманітні культурні рослини. Тобто виявилося, що токсини Bt Cry є цінним інструментом для регуляції чисельності шкідливих комах, особливо у розробці трансгенних рослин, які експресують токсини Cry. Ця технологія показала величезні успіхи в зменшенні використання хімічних інсектицидів. Трансгенні помідори були висаджені Фішгофом і могли викликати 50% або, іноді, повну загибель личинок хробака тютюнового (*Manduca sexta* (Linnaeus)). Vaeck та ін. розробили ГМ рослини тютюну, що призвело до майже 100% смертності личинок *M. sexta*. Згодом трансгенну технологію поступово використовували для вирощування інших ГМ-культур, як-от бавовна, кукурудза, рис і соя. Найважливіше те, що екстенсивне вирощування трансгенних культур швидко утворилося після того, як перша ГМ рослина була успішно комерціалізована в 1996 р. На сьогодні ГМ-культури та дерева, що охоплюють приблизно 200 млн га, широко вирощуються як у країнах, що розвиваються, так і в розвинених країнах. Як свідчить досвід, вирощування таких рослин є достатньо безпечним, але ще і досі викликає багато питань та дискусій [15].

Інсектициди на основі грибів. За останньою оцінкою науковців у світі існує від 1,5 до 5,1 млн видів грибів і приблизно від 750 до 1000 з них є ентомопатогенами, що відносяться до понад 100 родів. Тому гриби-ентомопатогени становлять найбільшу кількість таксонів, які є патогенами комах. Найважливішими їх представниками є: *Metarhizium*, *Beauveria*, *Entomophthora*, *Zoophthora*, *Verticillium*, *Paecilomyces*, *Acremonium* та багато інших (*рис. 2*) [4; 11; 18–20].

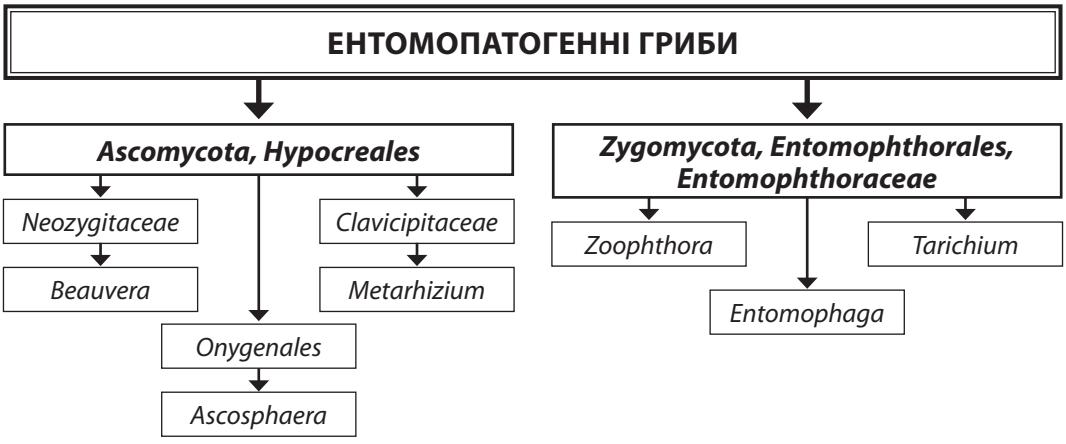


Рис. 2. Основні представники ентомопатогенних грибів

Примітка: сформовано автором.

Це найпоширеніші серед грибів, які використовуються у сільському господарстві проти шкідливих фітофагів як біопестициди, та мають широкий діапазон хазяїв, що включає в себе такі різноманітні групи, як-от коники, попелиці та жуки [18–20].

Механізм дії ентомопатогенних грибів. Більшість грибів-ентомопатогенів мають контактний спосіб дії. Вони можуть потрапляти в тіло комах безпосередньо контактуючи з його покривними стінками, але також і через шлунково-кишковий канал, продихи, рани тощо. Адгезія є найважливішою передумовою для інфікування. Цей процес передбачає хімічну й фізичну взаємодію епікутикули комахи та спори гриба. Наприклад, повітряні спори деяких ентомопатогенних грибів контактують там, де вони просто потрапляють на поверхню комах, тоді як зигоспори *Coelomycetes* виявляють свого хазяїна за допомогою хемотаксису. Адгезія зазвичай досягається шляхом секреції ферментів, що руйнують кутикулу, разом із слизом, який взаємодіє з епікутикулярними восками та змінює їх. Це також допомагає розпізнавати хазяїна і діє як цементувальна речовина для збудника та його «субстрату». Під час проникнення виробляється низка ферментів, що руйнують кутикулу. Три найважливіші класи таких ферментів: ліпази, протеази та хітинази, які руйнують епікутикулярний віск, за яким йде білково-хітинова матриця і крім цього, трипсин, хімотрипсин, еластази, колагенази та хімоеластази також відіграють роль у процесі проникнення. Після адгезії патогенні гриби проникають всередину комахи й уражують її завдяки утворенню різноманітних інфекційних структур, позаклітинних ферментів або появою токсинів, які, тим чи іншим чином, вбивають комах. Точний механізм варіюється від виду до виду ентомопатогена. Схему зараження, розмноження та розповсюдження ентомопатогенних грибів зображено на *рис. 3*.

Після проникнення всередину комахи гриб завжди починає швидко розмножуватися і намагається подолати імунну відповідь у гемоцелі тіла комах за допомогою різних механізмів, наприклад: а) утворення окремих тіл гіф шляхом поділу гіф, які не є такими антигенними, як гіфи; б) вироблення токсинів деякими представниками *Deuteromycetes*, як-от *Beauveria* та *Metarhizium*; в) розвиток безстінкового прото-

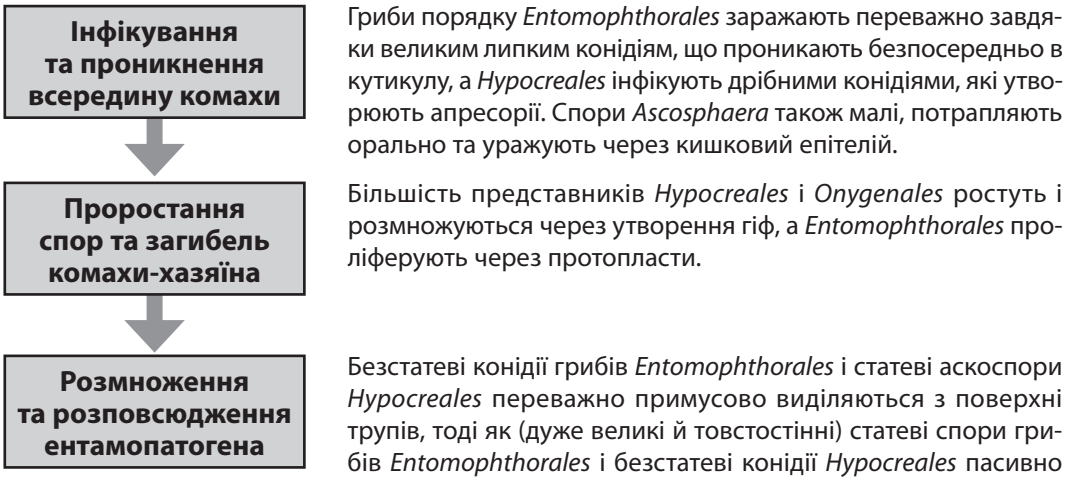


Рис. 3. Зараження, розмноження та розповсюдження ентомопатогенних грибів
Примітка: сформовано автором.

пласта *Coelomycetes* та *Entomophthorales* у гемоцелі, які не розпізнаються хазяїном. Уражені грибами комахи мають такі фізіологічні симптоми, як судоми, відсутність координації, аномальне положення та розправлення інфікованих крил. Ці поведінкові зміни супроводжуються смертю комахи [19–22]. Загалом, механізм їх дії заснований на здатності проникати в організм комахи через кутикулу. Всі білки, хітин та ліпіди кутикули розкладаються під дією ферментів гриба і його міцелій проростає в порожнину тіла комах, що спричиняє мікоз та загибель фітофага [18].

З іншого боку, комахи також розвинули низку механізмів, щоб захищатися від подібних збудників захворювань, тому необхідно звертати увагу на інтегровані схеми захисту від фітофагів шкідників, які засновані на комплексній дії на нього. Наприклад, ентомопатогенні гриби та пестициди можна використовувати в програмах інтегрованої боротьби зі шкідливими комахами (IPM — integrated pest control), розглядаючи гриб як важливий агент боротьби з ними. *Beauveria bassiana* легко використовується разом з іншими хімічними інсектицидами (наприклад, речовини із групи хлоронікотинілів, такі як імідоклоприд) та забезпечує синергічний ефект у регуляції чисельності білокрилки тютюнової (*Bemisia tabaci* (Gennadius)). Це дає можливість знизити токсичне навантаження шляхом зменшення кількості внесеної хімічної речовини та подовжити інсектицидну дію за рахунок зараження мікозом більшого кола комах. Однак біоінсектициди на основі грибів ніколи не слід використовувати разом із будь-якими комерційно доступними фунгіцидами (наприклад, фосфорорганічні сполуки, азоксистромбін, флутриафол, тебуконазол, карбендазим тощо), оскільки ці комерційні фунгіциди є хімічними речовинами, які пригнічують ріст міцелію ентомопатогенних грибів [21].

Сучасні методи генної інженерії та біотехнології безумовно допомагають маніпулювати бажаними ознаками ентомопатогенних грибів, що лише покращує їх біоактивність і спонукає до детального вивчення цих грибів із метою створення нових та ефективніших препаратів цього типу. Нині вдосконалене широке виробництво грибів й існує велика кількість комерційно доступних препаратів на основі таких мікроорганізмів [22]. Основними комерційними препаратами мікобіоконтролю (або на основі їх метаболітів) є «Requiem Ec», «Metronome Ec», «Velifer», «Met52 EC» (виробників Bayer, BASF та Novozymes), а також «Mycotrol WP», «Naturalis», «BioBlast», «Vertalec», «Green Muscle», «Meta guard», «Ентоцид», «Метавайт», «Хетомік», «Боверин», «АгріІнсекта» тощо.

Завдяки тому, що ентомопатогенні гриби мають ширший спектр хазяїнів, ніж інші агенти біологічного контролю (відомо, що вони заражають види *Lepidoptera*, *Hemiptera*, *Coleoptera* та *Diptera*) вони повсюдно використовуються у всьому світі.

Ентомопатогенні гриби можна виділити безпосередньо з різних природних об'єктів (як-от комахи-хазяїна, ґрунт, мульча та рослини), використовуючи селективні середовища або методи приманки для комах. У природі ентомопатогенні *Hypocreales* можна зібрати безпосередньо із комах, які загинули, та на яких утворилися спори гриба [20; 22].

Вважається, що *M. anisopliae* є найефективнішим агентом біологічного контролю та застосовується проти жуків, термітів і сарани. *B. bassiana* найефективніше використовується проти багатьох членистоногих, прямокрилих і лускокрилих шкідливих комах. Серед усіх грибів перспективних продуцентів біоінсектицидів (мікоінсектицидів) є мікроорганізми *B. bassiana* та *M. anisopliae* становлять 33,9%, *Isaria fumosorose* — 5,8% та *B. brongniartii* — 4,1% відповідно [11].

Ентомопатогенні віруси. З усіх ентомопатогенних мікроорганізмів віруси є найбільш специфічними. Їм притаманна надзвичайна вибірковість патогенної дії, тобто здатність уражувати один або декілька видів членистоногих без шкоди для інших. Ця їх особливість є теоретичною

гарантією безпеки для нецільових організмів. Віруси мають надзвичайну здатність до розмноження всередині живої клітини. Основними елементами частинки віріону, які укладені в білкову оболонку, що називається капсидом, є гени, що містять ДНК і РНК. Специфічні для комах віруси переважно спричиняють високу патогенність на стадії гусені у деяких комах. Комахи заражаються шляхом споживання частинок вірусу, тоді як інфекція від однієї комахи до іншої передається під час спарювання та відкладання яєць. Найбільш відомими ентомопатогенами є паличкоподібні бакуловіруси двох груп — віруси поліедрозів та віруси гранульозів. Вони спричиняють загибель лускокрилих шкідливих фітофагів бавовника, рису, фруктів та овочів. Серед 73 відомих родин вірусів 13 родин *Baculoviridae* належать до ентомопатогенних вірусів. Представники цих 13 родин виявляють високу патогенність щодо *Diptera*, *Hymenoptera*, *Isoptera*, *Lepidoptera*, *Neuroptera* та *Orthoptera*. Нуклеополіедровірус (NPV) і грануловірус (GV) є двома родами родини *Baculoviridae*. В Індії проводиться успішна боротьба із популяціями *Helicoverpa* spp. і *Spodoptera* spp. за допомогою NPV у цитрусових, на бавовні, какао, кукурудзі, арахісі, бобових, картоплі, сорго, тютюні, помідорах та інших овочах [11; 24; 25].

Незважаючи на те, що ентомопатогенні віруси є ефективними у регуляції чисельності фітофагів, їх складність у масовому виробництві, швидка деградація в навколишньому середовищі та висока видова специфічність зробили їх менш поширеними серед аграріїв. Однак, останні досягнення в розробці нових клітинних ліній комах, придатних для інфікування вірусом *in vitro*; і великий розвиток бакуловірусів, як векторів експресії гетерологічних білків, відчинив двері для розробки рекомбінантних вірусних частинок, які покращили вірулентність проти низки шкідливих фітофагів і мають підвищену польову ефективність [24; 31]. Найвідомішими препаратами на основі ентомовірусів вважаються «Мадекс Твін», «Хеліковек», «Вірин-ЕНШ», «Вірин-АБМ», «Вірин-ГЯП», «Вірин-ЕКС», «Вірин-ОС».

Біоінсектициди, розроблені на основі NPV, вважаються чудовою заміною хімічних пестицидів та найкращим варіантом для контролю чисельності комах, які стають стійкими до хімічних пестицидів. Було показано, що стійкі популяції комах *Helicoverpa zea* (Boddie) та *Helicoverpa armigera* (Übner) швидко знищуються подібними біоінсектицидами. Біоінсектициди, на основі бакуловірусів, використовуються для регуляції чисельності популяцій перетинчастокрилих і лускокрилих шкідливих фітофагів у всьому світі. Наприклад, в Індії, виробництво NPV у комерційних цілях здійснюється на невеликих підприємствах. У Хайдерабаді в Міжнародному науково-дослідному інституті рослинництва для напівзасушливих тропіків (ICRISAT) було проведено навчання для фермерів щодо виробництва вірусу нуклеополіедрозу *H. armigera* (HaNPV). Препарат використовували у вигляді сирого відфільтрованого екстракту, який вносять на поле. В Індії та Непалі, для захисту фермерських господарств від фітофагів, у 96 селах були створені виробничі підрозділи NPV. Незважаючи на те, що препарати на основі грануловірусу недоступні для вільного продажу в Індії, під час досліджень було виявлено, що вони дуже ефективні для контролю чисельності з *Chilo infuscatellus* (Snellen) на цукровій тростині та для регуляції кількості личинок молі діамантової [24].

Роль біоінсектицидів у захисті сільськогосподарських культур. Розглядаючи сільськогосподарські екосистеми, важко не виокремити, як основну проблему для врожайності та виробництва, збитки, спричинені шкідливими фітофагами та патогенами, що призводить до зниження родючості ґрунту в усьому світі. Біологічний спосіб боротьби з комахами-шкідниками на сільськогосподарських культурах є одним з екологічно визнаних методів [26]. За оптимальних польових умов застосування одного біопестициду може бути визнано ефективним, але його необхідно додатково покращувати шляхом поєднання кіль-

ких корисних мікроорганізмів. Вже давно було помічено, що шкідливі комахи стають стійкими за постійного впливу тих самих пестицидів (як хімічних, так і біологічних), які постійно використовуються. Тому, існує постійна потреба у розробці нових препаратів, та їх комбінацій, для регуляції чисельності популяції шкідливих фітофагів. Існує низка повідомлень щодо високоефективного застосування комбінації біоінсектицидів різних типів. Так, наприклад, застосування бактерії *B. thuringiensis* і вірусу поліедрозу засвідчили високу здатність до контролю популяції *Colias philodice* (Godart) у Каліфорнії. У деяких випадках проводили застосування мікробних метаболітів разом із патогенними грибами для контролю популяції *Aedes aegypti* (Linnaeus) і такий синергічний вплив демонстрував більш ефективну дію. Багаторазово показано, що правильна комбінація ентомопатогенів контролює популяцію комах так само, як за використання інсектициду, наприклад, імідаклоприду. Отже, саме застосування ентомопатогенів, зокрема бактерії, гриби та віруси в поєднанні, є найбільш перспективним інтегрованим підходом до контролю популяцій шкідливих комах для сталого сільського господарства [11].

Синтетичні інсектициди використовуються переважно як основний метод контролю чисельності зі шкідливих фітофагів, але через швидко виникаючу резистентність більшість із них є неефективними. Наприклад, повідомляється, що резистентність комах спричиняє посилення використання хімічних пестицидів проти *Tuta absoluta* (Meyrick) у багатьох країнах світу — Іспанії, Бразилії, майже по всій Африці тощо. Так, Туніс зареєстрував 18 нових інсектицидів упродовж 2009–2016 рр. після інвазії *T. absoluta* і всі вони виявилися неефективними [10; 23; 27; 28]. Інтенсивне використання синтетичних інсектицидів для регуляції чисельності цієї шкідливої комахи в поєднанні з біологічними посилили селективний тиск *T. absoluta* на стійкість до інсектицидів. У Південній Америці та Європі виявлено стійкість до звичайних інсектицидів, як-от органофосфати, піретроїди, картап гідрохлорид, діаміди та авермектини [10; 27; 28; 30]. Основні механізми їх резистентності сформувалися через зміну чутливості мішені та/або посилення детоксикації, залежно від хімічного класу застосованого препарату. У Північній Нігерії відзначено про резистентність до цихалотрину (піретроїду типу II), пропоксуру та хлорпірифос-метилу через мутацію ферменту, що лежить в основі проблем регуляції чисельності інвазивної шкідливої комахи за допомогою пестицидів [29; 30]. Також враховуючи високу вартість синтетичних пестицидів для фермерів, еволюція стійкості до пестицидів значно збільшить втрати для фермерів, які й так обмежені в ресурсах. Загалом, застосування біопестицидів у інтегрованих системах захисту дає можливість стабілізувати екологічну рівновагу в агроценозі та істотно зменшити кількість хімічних пестицидів задля збереження корисних видів комах та мінімізації впливу на навколишнє середовище.

Тому, важливо використовувати розроблені для захисту безпечні для довкілля стратегії контролю, які включають такі заходи, як сівозміна, видалення та знищення зараженого рослинного матеріалу, використання природних для фітофагів ворогів (паразитів, хижаків, ентомопатогенів тощо), застосування комбінації біоінсектицидів різних типів і вирощування стійких сортів рослин. Інтеграція цих методів одне із одним та з менш небезпечними для навколишнього середовища інсектицидами є важливою основою для регуляції чисельності шкідливих фітофагів без шкоди для довкілля. Особливо перспективною альтернативою використанню синтетичних пестицидів вважаються ентомопатогенні мікроорганізми та їх продукти життєдіяльності.

ВИСНОВКИ

Мікроорганізми мають безліч дієвих шляхів для контролю чисельності шкідливих фітофагів, що є дуже ефективними для біологічного контролю їх чисельності. Наразі існує багато природних ентомопатогенних штамів мікроорганізмів, на осно-

ві яких виготовляються біоінсектициди. Найдослідженішими й широко розповсюдженими серед бактерій є представники родин *Bacillaceae* і *Streptococcaceae*. Найпоширеніші серед грибів, які використовуються у сільському господарстві проти шкідливих фітофагів у якості біопестицидів є *Metarhizium* та *Beauveria*. Незважаючи на всі переваги ентомопатогенних вірусів, складність у їх масовому виробництві, легка втрата властивостей в навколишньому середовищі та висока видова специфічність зробили їх найменш поширеними серед аграріїв. Загалом, вважається найбільш ефективним застосування комбінації біоінсектицидів різних типів та додаткова інтеграція інших методів захисту, як-от сівозміна та боротьба із бур'янами.

Розуміння механізмів дії біологічних препаратів, залежно від основної його діючої речовини (мікроорганізму чи продукту його життєдіяльності) може дати можливість якісніше та ефективніше їх застосовувати для отримання максимальних урожаїв за екологічно чистого вирощування рослин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Федоренко В.П., Мостов'як С.М., Мостов'як І.І. Екологічно безпечні методи контролю чисельності шкідників у сучасних агротехнологіях. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 4. С. 64–74. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2021.252957.
2. Dhuldhaj U.P., Singh R. and Singh V.K. Pesticide contamination in agro-ecosystems: toxicity, impacts, and bio-based management strategies. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30 (4). P. 9243–9270. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-022-24381-y.
3. Фоменко О.О. Оцінка хімічних препаратів для захисту яблуні від шкідників за екотоксикологічними показниками. *Агроекологічний журнал*. 2023. № 3. С. 116–127. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2023.287770.
4. Sinha K.K., Choudhary A.K. and Kumari P. Entomopathogenic fungi. *Ecofriendly pest management for food security* / Ed. by Omkar. 2016. P. 475–505. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803265-7.00015-4.
5. Гунчак М. Біологічний метод захисту яблуні проти зеленої яблуневої попелиці. In: *«ΛΟΓΟΣ»: Collection of Scientific Papers* (May 20, 2022). Int. Cambridge, United Kingdom. P. 120–123. DOI: https://doi.org/10.36074/logos-20.05.2022.036.
6. Борзих О.І., Бублик Л.І., Гунчак М.В. та ін. Екотоксикологічні параметри застосування біопестицидів, розробка та адаптація біологічних систем захисту яблуні від шкідників та хвороб до грунтовокліматичних умов та фітосанітарного стану агроценозу. *Фітосанітарна безпека*. 2023. № 68. С. 3–26. DOI: https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.3-26.
7. Мостов'як І.І., Дем'янюк О.С., Лісовий М.М. Екологічна структура шкідливого ентомокомплексу агроценозів зернових злакових культур центрального лісостепу України. *Агроекологічний журнал*. 2020. № 2. С. 31–39. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207678.
8. Stahly D.P., Andrews R.E. and Yousten A.A. The genus Bacillus–Insect pathogens. *Prokaryotes*. 2006. Vol. 4. P. 563–608. DOI: https://doi.org/10.1007/0-387-30744-3_17.
9. Sharma L., Bohra N., Singh R.K. and Marques G. Potential of entomopathogenic bacteria and fungi. *Microbes for Sustainable Insect Pest Management. Sustainability in Plant and Crop Protection* / Khan M. and Ahmad W. (Eds.). Cham. 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23045-6_4.
10. Tarusikirwa V.L., Machekano H., Mutamiswa R., Chidawanyika F. and Nyamukondiwa C. *Tuta absoluta* (Meyrick) (*Lepidoptera*: *Gelechiidae*) on the «Offensive» in Africa. *Prospects for Integrated Management Initiatives*. *Insects*. 2020. Vol. 11. P. 764. DOI: https://doi.org/10.3390/insects11110764.
11. Thakur N., Tomar P., Kaur S. and Jhamta S. Entomopathogenic soil microbes for sustainable crop protection. *Soil microbiomes for sustainable agriculture: functional annotation*. *Sustainable Development and Biodiversity* / Ed. by Ajar Nath. 2021. P. 529–571. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-73507-4_17.
12. Adepeju D.M., Uwanta L.I., Agu K.C. et al. Umeoduagu N.D. Mosquito larvae biocontrol potential of *Bacillus thuringiensis* isolated from soil samples. *International Journal of Research Publication and Reviews*. 2023. Vol. 4 (8). P. 1899–1906. URL: https://www.researchgate.net/publication/373237930_Mosquito_Larvae_Biocontrol_Potential_of_Bacillus_Thuringiensis_Isolated_from_Soil_Samples.
13. Astuto M.C. and Cattaneo I. *Bacillus thuringiensis*. Encyclopedia of Toxicology (Fourth Edition). 2024. Vol. 1. P. 893–901. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00491-7.
14. Bravoa A., Likitvivatanavongb S., Gillb S.S. and Soberóna M. *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. *Insect Biochem Mol Biol*. 2011. Vol. 41 (7). P. 423–431. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2011.02.006.
15. Gu J., Ye R., Xu Y. et al. A historical overview of analysis systems for *Bacillus thuringiensis* (Bt) Cry proteins. *Microchemical Journal*. 2021. Vol. 165. P. 106137. DOI: https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.10613.
16. Шерстобоєва О.В., Крижко А.В., Кузнєцова Л.М. Екологічні аспекти застосування *Bacillus thuringiensis* у системі захисту картоплі від колорадського

жука. *Агроекологічний журнал*. 2010. № 3. С. 234–236.
17. Schwenk V., Riegg J., Lacroix M., Martlbauer E. and Jessberger N. Enteropathogenic Potential of *Bacillus thuringiensis* isolates from soil, animals, food and biopesticides. *Foods*. 2020. Vol. 9 (10). P. 1484. DOI: https://doi.org/10.3390/foods9101484.
18. Mora M.A.E., Castilho A.M.C. and Fraga M.E. Classification and infection mechanism of entomopathogenic fungi. *Arquivos do Instituto Biológico*. 2017. Vol. 84. P. 1–10. DOI: https://doi.org/10.1590/1808-1657000552015.
19. Dinkwar G.T. and Ashwini E. Entomopathogenic fungi: need of sustainable agriculture. *Biotica Research Today*. 2022. Vol. 4 (10). P. 657–661. URL: https://www.biospub.com/index.php/biorestoday/article/view/1679.
20. Sandhu S.S., Shukla H., Aharwal R.P., Kumar S. and Shukla S. Efficacy of entomopathogenic fungi as green pesticides: current and future prospects. *Microorganisms for Green Revolution*. *Microorganisms for Sustainability* / Panpatte D. et al. (Eds.). Singapore. 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-6241-4_17.
21. Altinok H.H., Altinok M.A. and Koca A.S. Modes of action of entomopathogenic fungi. *Current Trends in Natural Sciences*. 2019. Vol. 8 (16). P. 117–124. URL: https://www.researchgate.net/publication/338390298_Modes_of_Action_of_Entomopathogenic_Fungi#fullTextFileContent.
22. Bava R., Castagna F., Piras C. et al. Entomopathogenic fungi for pests and predators control in beekeeping. *Veterinary Sciences*. 2022. Vol. 9 (2). P. 95. DOI: https://doi.org/10.3390/vetsci9020095.
23. Zekeya N., Chacha M., Ndakidemi P.A. et al. Tomato Leafminer (*Tuta absoluta* Meyrick 1917). A threat to Tomato production in Africa. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*. 2017. Vol. 10. P. 1–10. DOI: https://doi.org/10.9734/JAERI/2017/28886.
24. Raj M.N., Samal I., Paschapur A. and Subbanna A.R.N.S. Entomopathogenic viruses and their potential role in sustainable pest management. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* / Harikesh Bahadur Singh et al. (Eds.). Elsevier, 2022. P. 47–72. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85579-2.00015-0.
25. Reid S., Malmanche H., Chan L., Popham H. and Van Oers M.M. Production of entomopathogenic viruses. *Mass Production of Beneficial Organisms (Second Edition)* / Juan A. Morales-Ramos et al. (Eds.). 2023. P. 375–406. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822106-8.00020-8.
26. Deka B., Baruah C. and Babu A. Entomopathogenic microorganisms: their role in insect pest management. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 2021. Vol. 121 (31). DOI: https://doi.org/10.1186/s41938-021-00466-7.
27. Biondi A., Guedes R.N.C., Wan F.-H. and Desneux N. Ecology, worldwide spread, and management of the invasive south american Tomato pinworm, *Tuta absoluta*: past, present, and future. *Annual Review of Entomology*. 2018. Vol. 63. P. 239–258. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-034933.
28. Silva G.A., Picanco M.C., Bacci L. et al. Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta*. *Pest Management Science*. 2011. Vol. 67. P. 913–920. DOI: https://doi.org/10.1002/ps.2131.
29. Bala I., Mukhtar M., Saka H., Abdullahi N. and Ibrahim S. Determination of insecticide susceptibility of field populations of tomato leaf miner (*Tuta absoluta*) in Northern Nigeria. *Agriculture*. 2019. Vol. 9 (1). P. 7. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture9010007.
30. Birhan A. Tomato leafminer [(*Tuta absoluta* Meyrick) (*Lepidoptera*: *Gelechiidae*)] and its current ecofriendly management strategies: A review. *Journal of agricultural biotechnology and sustainable development*. 2018. Vol. 10. P. 11–24. DOI: https://doi.org/10.5897/JABSD2018.0306.
31. Harish S., Murugan M., Kannan M. et al. Entomopathogenic viruses. *Microbial Approaches for Insect Pest Management*. Singapore. 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-3595-3_1.

REFERENCES

1. Fedorenko, V.P., Mostoviak, S.M. & Mostoviak, I.I. (2021). Ekolohichno bezpechni metody kontroliu chyslennosti shkidnykiv u suchasnykh ahrotekhnolohiiakh [Ecologically safe methods of controlling the number of pests in modern agricultural technologies]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal, 4*, 64–74. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2021.252957 [in Ukrainian].
2. Dhuldhaj, U.P., Singh, R. & Singh, V.K. (2023). Pesticide contamination in agro-ecosystems: toxicity, impacts, and bio-based management strategies. *Environmental Science and Pollution Research., 30 (4)*, 9243–9270. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-022-24381-y [in English].
3. Fomenko, O.O. (2023). Otsinka khimichnykh preparativ dlia zakhystu yabluni vid shkidnykiv za ekotoksykolohichnymy pokaznykamy [Evaluation of chemical preparations for apple tree protection against pests according to ecotoxicological indicators]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal, 3*, 116–127. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2023.287770 [in Ukrainian].
4. Sinha, K.K., Choudhary, A.K., Kumari, P. & Omkar (Ed.). (2016). Entomopathogenic fungi. *Ecofriendly pest management for food security*. (pp. 475–505). DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803265-7.00015-4 [in English].
5. Gunchak, M.V. Biolohichnyy metod zakhystu yabluni proty zelenoyi yablunevoyi popelytsi [Biological method of apple tree protection against green apple aphid]. *«ΛΟΓΟΣ»: Collection of Scientific Papers*. (pp. 120–123). Cambridge, United Kingdom. DOI: https://doi.org/10.36074/logos-20.05.2022.036 [in Ukrainian].

6. Borzykh, O.I., Bublyk L.I., Hunchak M.V. et al. (2023). Ekotoksykolohichni parametry zastosuvannia biopestytsydiv, rozrobka ta adaptatsiia biolohichnykh system zakhystu yabluni vid shkidnykiv ta khvorob do gruntovoklimatychnykh umov ta fitosanitarnoho stanu ahrotsenozu [Ecotoxicological parameters of the use of biopesticides, development and adaptation of biological systems for the protection of apple trees from pests and diseases to soil and climatic conditions and the phytosanitary state of the agrocenosis]. *Fitosanitarna bezpeka — Phytosanitary safety, 68*, 3–26. DOI: https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.3-26 [in Ukrainian].
7. Mostoviak, I.I., Demyanyuk, O.S. & Lisovyy, M.M. (2020). Ekolohichna struktura shkidlyvoho entomokompleksu ahrotsenoziv zernovykh zlakovykh kul'tur tsentral'noho lisostepu ukrayiny [Ecological structure of harmful entomocomplex of agrocenoses of cereals culture of the central forest steppe of Ukraine]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal, 2*, 31–39. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207678 [in Ukrainian].
8. Stahly, D.P., Andrews, R.E. & Yousten, A.A. (2006). The genus Bacillus–Insect pathogens. *Prokaryotes, 4*, 563–608. DOI: https://doi.org/10.1007/0-387-30744-3_17 [in English].
9. Sharma, L., Bohra, N., Singh, R.K., Marques, G., Khan, M. & Ahmad, W. (Eds.). (2019). Potential of entomopathogenic bacteria and fungi. *Microbes for Sustainable Insect Pest Management. Sustainability in Plant and Crop Protection*. Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23045-6_4 [in English].
10. Tarusikirwa, V.L., Machekano, H., Mutamiswa, R., Chidawanyika, F. & Nyamukondiwa, C. (2020). *Tuta absoluta* (Meyrick) (*Lepidoptera*: *Gelechiidae*) on the «Offensive» in Africa: *Prospects for Integrated Management Initiatives*. *Insects, 11*, 764. DOI: https://doi.org/10.3390/insects11110764 [in English].
11. Thakur, N., Tomar, P., Kaur, S., Jhamta, S. & Ajar, Nath Yadav (Ed.). (2021). Entomopathogenic soil microbes for sustainable crop protection. *Soil microbiomes for sustainable agriculture: functional annotation. Sustainable Development and Biodiversity*. (pp. 529–571). Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-73507-4_17 [in English].
12. Adepeju, D.M., Uwanta, L.I., Agu, K.C. et al. (2023). Mosquito larvae biocontrol potential of *Bacillus thuringiensis* isolated from soil samples. *International Journal of Research Publication and Reviews, 4 (8)*, 1899–1906. URL: https://www.researchgate.net/publication/373237930_Mosquito_Larvae_Biocontrol_Potential_of_Bacillus_Thuringiensis_Isolated_from_Soil_Samples [in English].
13. Astuto, M.C. & Cattaneo, I. (2024). *Bacillus thuringiensis*. Encyclopedia of Toxicology (Fourth Edition), 1, 893–901. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00491-7 [in English].
14. Bravoa, A., Likitvivatanavongb, S., Gillb, S.S. & Soberóna, M. (2011). *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. *Insect. Biochem. Mol. Biol., 41 (7)*, 423–431. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2011.02.006 [in English].
15. Gu, J., Ye, R., Xu, Y. et al. (2021). A historical overview of analysis systems for *Bacillus thuringiensis* (Bt) Cry proteins. *Microchemical Journal, 165*, 106137. DOI: https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.10613 [in English].
16. Sherstoboieva, O.V., Kryzhko, A.V. & Kuznietsova, L.M. (2010). Ekolohichni aspekty zastosuvannia *Bacillus thuringiensis* u systemi zakhystu kartopli vid koloradskoho zhuka [Ecological aspects of the use of *Bacillus thuringiensis* in the potato protection system against the Colorado potato beetle]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal, 3*, 234–236 [in Ukrainian].
17. Schwenk, V., Riegg, J., Lacroix, M., Märtlbauer, E. & Jessberger, N. (2020). Enteropathogenic Potential of *Bacillus thuringiensis* Isolates from Soil, Animals, Food and Biopesticides. *Foods, 9 (10)*, 1484. DOI: https://doi.org/10.3390/foods9101484 [in English].
18. Mora, M.A.E., Castilho, A.M.C. & Fraga, M.E. (2017). Classification and infection mechanism of entomopathogenic fungi. A*rquivos do Instituto Biológico, 84*, 1–10. DOI: https://doi.org/10.1590/1808-1657000552015 [in English].
19. Dinkwar, G.T. & Ashwini, E. (2022). Entomopathogenic fungi: need of sustainable agriculture. *Biotica Research Today, 4 (10)*, 657–661. URL: https://www.biospub.com/index.php/biorestoday/article/view/1679 [in English].
20. Sandhu, S.S., Shukla, H., Aharwal, R.P., Kumar, S., Shukla, S. & Panpatte, D. et al. (Eds.). (2017). Efficacy of entomopathogenic fungi as green pesticides: current and future prospects. *Microorganisms for Green Revolution. Microorganisms for Sustainability*. Singapore. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-6241-4_17 [in English].
21. Altinok, H.H., Altinok, M.A. & Koca, A.S. (2019). Modes of action of entomopathogenic fungi. *Current Trends in Natural Sciences, 8 (16)*, 117–124. URL: https://www.researchgate.net/publication/338390298_Modes_of_Action_of_Entomopathogenic_Fungi#fullTextFileContent [in English].
22. Bava, R., Castagna, F., Piras, C. et al. (2022). Entomopathogenic fungi for pests and predators control in beekeeping. *Veterinary Sciences, 9 (2)*, 95. DOI: https://doi.org/10.3390/vetsci9020095 [in English].
23. Zekeya, N., Chacha, M., Ndakidemi, P.A. et al. (2017). Tomato Leafminer (*Tuta absoluta* Meyrick 1917). A threat to Tomato production in Africa. *Journal of Agriculture and Ecology Research International, 10*, 1–10. DOI: https://doi.org/10.9734/JAERI/2017/28886 [in English].
24. Raj, M.N., Samal, I., Paschapur, A. Subbanna, A.R.N.S. & Harikesh Bahadur, Singh et al. (Eds.). (2022). Entomopathogenic viruses and their potential role in sustainable pest management. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. (pp. 47–72). DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85579-2.00015-0 [in English].
25. Reid, S., Malmanche, H., Chan, L., Popham, H., Van Oers, M.M. & Juan A., Morales-Ramos et al. (Eds.). (2023). Production of entomopathogenic viruses. *Mass Production of Beneficial Organisms*

(Second Edition). (pp. 375–406). DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822106-8.00020-8 [in English].
26. Deka, B., Baruah, C. & Babu, A. (2021). Entomopathogenic microorganisms: their role in insect pest management. *Egyptian Journal of Biological Pest Control., 121 (31)*. DOI: https://doi.org/10.1186/s41938-021-00466-7 [in English].
27. Biondi, A., Guedes, R.N.C., Wan F.-H. & Desneux, N. (2018). Ecology, worldwide spread, and management of the invasive south american Tomato pinworm, *Tuta absoluta*: past, present, and future. *Annual Review of Entomology, 63*, 239–258. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-034933 [in English].
28. Silva, G.A., Picanco, M.C., Bacci, L. et al. (2011). Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta*. *Pest Management Science, 67*, 913–920. DOI: https://doi.org/10.1002/ps.2131 [in English].
29. Bala, I., Mukhtar, M., Saka, H., Abdullahi, N. & Ibrahim, S. (2019). Determination of insecticide susceptibility of field populations of tomato leaf miner (*Tuta absoluta*) in Northern Nigeria. *Agriculture, 9 (1)*, 7. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture9010007 [in English].
30. Birhan, A. (2018). Tomato leafminer [(*Tuta absoluta* Meyrick) (*Lepidoptera*: *Gelechiidae*)] and its current ecofriendly management strategies: A review. *Journal of agricultural biotechnology and sustainable development, 10*, 11–24. DOI: https://doi.org/10.5897/JABSD2018.0306 [in English].
31. Harish, S., Murugan, M., Kannan, M. et al. (2021). Entomopathogenic viruses. *Microbial Approaches for Insect Pest Management*. Singapore. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-3595-3_1 [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 29.04.2024

УДК 631.452: 631.867:631.878:631.95:631.147 DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311187

ВПЛИВ ОРГАНІЧНОГО ДОБРИВА «ORGANIC MAX» НА АГРОХІМІЧНИЙ СТАН ҐРУНТІВ ЗАКАРПАТТЯ

І.С. Брощак[1], М.В. Мандрико[2], Б.І. Ориник[3], О.З. Бровко[3], М.Д. Гуйван[4]

[1]Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, Україна)
e-mail: i.broshchak@gmail.com; ORCID: 0009-0002-9852-3514

[2]ТОВ «ЛІГНІТ+» (с. Ільниця, Хустський р-н, Закарпатська обл., Україна)
e-mail: tzovlignitplus@ukr.net

[3]Тернопільська філія ДУ «Держґрунтохорона» (м. Тернопіль, Україна)
e-mail: bogdanorynyk@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2878-5754
e-mail: terno_rod@ukr.net; ORCID: 0000-0001-9457-0896

[4]Фізична особа — підприємець (с. Добрівляни, Чортківський р-н, Тернопільська обл., Україна)
e-mail: Guivan_co@ukr.net

За дефіциту традиційних органічних добрив та постійного зростання вартості мінеральних важливим є пошук альтернативних екологічно чистих джерел поживних речовин. Запропоновано та досліджено ефективність дії нового органічного добрива «Organic MAX», виготовленого на основі лігніту (бурого вугілля) та курячого посліду в умовах Закарпатської обл. Під впливом пташиного посліду гумінові речовини лігніту переходять у фізіологічно активний стан і ефективно діють як стимулятори росту рослин і джерела елементів живлення. За результатами проведених польових досліджень простежується збільшення ефективності цього добрива із підвищенням вмісту відходів тваринного походження: «Organic MAX-20» (лігніт + 20% курячого посліду) та «Organic MAX-30» (лігніт + 30% курячого посліду). Встановлено, що внесення цього добрива у нормі 1 т/га забезпечило підвищення вмісту органічної речовини ґрунту (гумусу) на 0,05% для чистого лігніту, на 0,19% для «Organic MAX-20» і на 0,66% для «Organic MAX-30». Відмічено також збільшення вмісту поживних елементів: легкогідролізованого азоту на 14,1–55,9 мг/кг; рухомих сполук фосфору на 64,5–109,3 мг/кг; рухомих сполук калію на 64,9–125,5 мг/кг. Було виявлено ефективну післядію внесених добрив на наступний рік, незважаючи на високий рівень виносу поживних речовин такою культурою, як кукурудза. На кислих ґрунтах перед внесенням добрива насамперед необхідно проводити вапнування. Вид цього добрива обирають під конкретну сільськогосподарську культуру після проведення агрохімічних аналізів ґрунту. Після внесення добрива спостерігається покращання водно-фізичних властивостей ґрунту, посилення мікробіологічної активності, а також зниження негативного впливу несприятливих чинників на розвиток рослин. Його використання є економічно вигідним та екологічно доцільним. Можна рекомендувати екологічно чисте органічне добриво «Organic MAX» для застосування в органічному землеробстві, поширеність якого в Україні з кожним роком зростає, для відновлення родючості ґрунту.

Ключові слова: *лігніт, курячий послід, елементи живлення, відходи, родючість ґрунту, екологічно чисте добриво.*

ВСТУП

У сучасному світі досить гостро постає проблема раціонального, екологічно безпечного використання земельних ресурсів. Вимоги такого землекористування набувають дедалі більшої актуальності і стають необхідними на всіх рівнях і підсистемах сучасного агровиробництва. Багатоаспектний характер цієї природничо-наукової та соціально-економічної проблеми потребує системної орієнтації у дослідженнях та розв'язанні практичних завдань [1].

Згідно з результатами багаторічного моніторингу в землеробстві Закарпатської обл.

© І.С. Брощак, М.В. Мандрико, Б.І. Ориник, О.З. Бровко, М.Д. Гуйван, 2024

упродовж останніх 20-ти років відзначається прогресивне падіння показників родючості. З усіх видів деградації, найпоширенішими є підвищення кислотності ґрунтового розчину, дегуміфікація, зниження вмісту основних макро- та мікроелементів тощо [2]. В області нараховується 66% кислих ґрунтів. До того ж значну частку площ займають землі з дуже сильно- та сильнокислою реакцією ґрунтового розчину. Простежуючи динаміку розподілу площ сільськогосподарських угідь за вмістом гумусу видно, що майже третя частка земель (29,1%) недостатньо забезпечені гумусом і мають низький та дуже низький його вміст. Таких ґрунтів найбільше у низинних районах області. Як результат — 42% обстежених площ сільгоспугідь області мають характеристику низькопродуктивних ґрунтів [3]. Причин цієї ситуації, звичайно немало, але основними з них можна вважати відносно низький рівень забезпеченості землеробства області мінеральними добривами, обмеженістю площ їх регламентованого використання, за рахунок чого відзначається порушення балансової рівноваги між мінеральною та органічною частинами ґрунту. Також істотним чинником впливу є різке скорочення обсягів використання органічних добрив, внесення яких за період останніх 15–20 років скоротилось до мізерної кількості, а їх дефіцит у сотні разів перевищує фактичне внесення. Зокрема, за розрахунками, для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу в землеробстві області щороку необхідно вносити близько 12–15 т/га органічних добрив, при фактичному показникові 0,02 т/га посівної площі [4; 5].

Метою досліджень було вивчити вплив нового екологічно чистого органічного добрива на основі лігніту «Organic MAX» на агрохімічні властивості ґрунту у Закарпатській обл. і їх післядію.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У результаті недостатньої кількості гною, актуальним є пошук нових органічних речовин місцевого походження. Молоде буре вугілля (лігніти) знаходиться на незначній глибині або виходить на поверхню, що зумовлює економічну ефективність їх добування. За хімічним складом лігніт володіє дуже високим вмістом гумінової кислоти, у рази більше порівняно з традиційними органічними добривами. Зважаючи на його великі запаси в Закарпатській обл. і багатий хімічний склад низка дослідників розглядають його як важливу альтернативу дефіцитним традиційним органічним добривам [6–10].

Поєднання лігніту із пташиним послідом у новому органічному добриві «Organic MAX» активує його гумінові речовини, які починають ефективно діяти як джерело живлення та стимулятори росту. Вміст поживних елементів у новоствореному добриві цілком достатній, щоб використовувати його в аграрному комплексі. Так, найбільше у ньому загального азоту, якого в середньому у кожній тонні міститься 13,4–14,5 кг, коли у традиційному органічному добриві — гноєві великої рогатої худоби (ВРХ) — тільки 5 кг. Уміст загального фосфору — 4,7–6,2 кг у 1 т, загального калію — 3,7–4,2 кг, також воно містить понад 68 інших мікроелементів. Однак потрібно зважати на його високу кислотність.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Упродовж 2022–2023 рр. польові дослідження з випробування нових добрив проводили у фермерському господарстві Терновцій В.М. у с. Кам'янське, яке наразі належить до Берегівського р-ну (колишній Іршавський) Закарпатської обл.

Аналізи виконувались у лабораторних умовах на базі аналітичної лабораторії Закарпатської філії ДУ «Держґрунтохорона».

Схема закладки дослідів передбачала визначення впливу органічного добрива на основі лігніту «Organic MAX» на показники родючості ґрунту за вирощування кукурудзи на зерно.

На ділянках здійснювали удобрення згідно з розрахунками, проведеними за

результатами агрохімічних досліджень. Добрива на основі лігніту вносили перед посівом кукурудзи. Для достовірності досліджень дотримувались єдності всіх чинників з одночасного проведення агротехнічних заходів та прийомів на усіх площах, спостерігаючи за фазами розвитку культур.

Схема розміщення дослідних ділянок за вирощування кукурудзи: контрольна ділянка 5,0 га і дослідна ділянка 5,0 га. «Organic MAX» вносили під основний обробіток ґрунту навесні перед посівом кукурудзи.

Було використано три види добрив, а саме:

- чистий лігніт, подрібнений до фракції 0–5 мм;
- лігніт + 20% курячого посліду (тобто у 100 кг добрив 20 кг курячого посліду) під назвою «Organic MAX-20»;
- лігніт + 30% курячого посліду (тобто у 100 кг добрив 30 кг курячого посліду) під назвою «Organic MAX-30».

Відбір, підготовка та аналітичні дослідження проб ґрунту регламентувались вимогами відповідних ДСТУ, ТУ та іншими нормативними документами.

Статистичну обробку результатів досліджень здійснювали за загальноприйнятими методиками за допомогою програми Microsoft Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Природні умови Закарпатської обл. характеризуються значною різноманітністю, що спричинює диференціацію формування ґрунтового покриву. Загалом ґрунти Закарпатської обл. сформувались в умовах помірного клімату з достатнім зволоженням, тому у низині переважають різновиди дерново-підзолистих ґрунтів. Ґрунтовий покрив району, де проводили польові дослідження, представлений дерновими опідзоленими глейовими різного за гранулометричним складом ґрунтами. Ґрунтоутворювальними породами для них є давні алювіальні відклади, підстелені піском і річковим гравієм, і делювіальні відклади (в перехідній частині до передгір'я). Ґрунтовий покрив низинної зони періодично перезволожується і підпадає під посухи в літній період. Більша частина цих земель осушена гончарним дренажем, який за своєю зношеністю майже не функціонує. Ґрунти досить родючі і використовуються під зернове землеробство, овочівництво та сади й виноградники. Дослідження з вивчення нових добрив на основі лігніту були зосереджені у низинній зоні Закарпаття. Ця агрокліматична зона є найбільш теплою.

За результатами агрохімічних досліджень Закарпатської філії державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» у 2018 р. було встановлено, що на земельній ділянці в ур. «Кремінна» за середньозваженими показниками кислотність ґрунту середньокисла з pH — 4,16 од. при середньовираженій гідролітичній кислотності, де H — 3,63 ммоль/100 г ґрунту. На цьому фоні вміст гумусу знаходиться на середньому рівні (2,86%). Забезпеченість поживними речовинами незадовільна. Так, уміст лужногідролізованого азоту на дуже низькому рівні (86,8 мг/кг ґрунту), а вміст рухомих сполук фосфору і калію — знаходиться на середньому рівні, відповідно 55,8 та 85,9 мг/кг ґрунту.

У квітні 2022 р. провели відбір ґрунтових проб у фермерському господарстві Терновцій В.М. на площі 10 га згідно з загальноприйнятою методикою. Проби ґрунту формували із 3–4 проб, відібраних у різних місцях на глибині 0–25 см у с. Кам'янське Берегівського р-ну, в яких визначали основні елементи живлення і кислотність ґрунтового розчину.

Результати аналізів показали, що на досліджуваній ділянці обмінна кислотність ґрунтового розчину змінюється від сильнокислої (pH_{KCl} — 4,50 од.) до слабокислої (pH_{KCl} — 5,07 од), а за середньозваженими показниками загалом по полю відповідає середньокислій реакції з показником pH_{KCl} — 4,76 од., що вплинуло і на суму увібраних основ, яка знаходиться на середньому рівні з показником 10,8 ммоль/100 г ґрунту (*табл. 1*).

Таблиця 1. **Агрохімічна характеристика досліджуваного ґрунту до застосування «Organic MAX»**

Місце відбору проб, площа, га	№ елементарної ділянки	Гумус, %	N, азот легкогідролізований	P_2O_5, фосфор рухомий	K_2O, калій рухомий	pH_{KCl}, обмінна кислотність, од. pH	Сума увібраних основ, ммоль/ 100 г ґрунту
			мг/кг ґрунту				
Поле 2, 10,0 га	1	1,83	81,2	29,8	50,1	4,78	9,8
	2	2,00	92,4	39,0	42,4	5,07	12,0
	3	2,21	96,0	47,6	74,4	4,50	10,1
	4	2,73	95,6	45,5	66,1	4,70	11,2
Середнє значення		2,19	91,3	40,3	58,3	4,76	10,8
Забезпеченість		Середня	Дуже низька	Низька	Низька	Середньо-кисла	Середня
Оптимальний уміст у ґрунті		3,5–4,0	150–200	100–150	120–170	5,6–7,0	10–12
Стандартна помилка		0,20	3,46	4,00	7,30	0,12	0,51
Середньоквадратичне відхилення		0,39	6,92	8,00	14,61	0,24	1,01
$НІР_{0,5}$		0,62	11,02	12,73	23,24	0,38	1,61

На фоні такої кислотності вміст гумусу середній із показником 2,19%. Оскільки вміст доступних для рослин сполук азоту залежить від умісту гумусу, їх у ґрунті недостатньо — усього 91,3 мг/кг, що відповідає дуже низькому рівню згідно з групуванням ґрунтів за вмістом поживних речовин. Середньовиражена кислотність ґрунтового розчину негативно вплинула на вміст рухомих сполук фосфору, забезпеченість якими на всій площі знаходиться на низькому рівні при середньому показнику по полю 40,3 мг/кг ґрунту. На обстеженому полі вміст сполук рухомого калію у всіх відібраних пробах відповідає низькому забезпеченню і коливається у межах від 42,4 мг/кг до 74,4 мг/кг ґрунту із середньозваженим показником на рівні низького забезпечення — 58,3 мг/кг ґрунту.

За результатами проведених аналізів, досліджуваний ґрунт потребує додавання вапнякових добрив, оскільки реакція ґрунтового розчину в пробах середньокисла, тому насамперед необхідно було провести вапнування з розрахунку по 4,5–5,0 т/га вапнякових добрив. На досліджуваній ділянці було внесено по 5,0 т/га вапняку, щоб нейтралізувати високу кислотність. Забезпеченість органічною речовиною, гумусом, відповідає середньому рівню, що для вимогливих до поживного режиму ґрунтів потребує застосування органічних добрив. Як видно із проведених аналітичних робіт, забезпеченість ґрунту мінеральними поживними речовинами недостатня, оскільки вміст рухомих сполук азоту, фосфору і калію відповідає низькому забезпеченню. За традиційною технологією під посів кукурудзи необхідно внести 30–40 т/га органічних добрив. Для покращання мінерального живлення слід внести під основний обробіток ґрунту фосфорні і калійні добрива з розрахунку 120–150 кг/га діючої речовини добрив. Під час посіву доцільно застосувати фосфорні добрива з розрахунку 1 ц/га суперфосфату. Азотні добрива слід внести перед посівом — 30–40 кг/га поживних речовин добрив і впродовж вегетації провести 2–3 підживлення рослин такими самими дозами.

Однак, у дослідженнях застосували лише добрива на основі лігніту «Organic MAX». Добрива вносили навесні під основний обробіток ґрунту з розрахунку одну тонну на один гектар. Проби ґрунту відбирали у період інтенсивного росту рослин у період викидання волоті. Результати досліджень засвідчили, що внесення «Organic MAX», як у чистому виді, так і збагаченого курячим послідом позитивно вплинуло на вміст поживних речовин у ґрунті (*табл. 2*).

Уміст органічної речовини (гумусу) за застосування чистого лігніту збільшився на 0,05 %, а за внесення «Organic MAX-20» — на 0,19% і найбільш помітно підвищився за додавання «Organic MAX-30» — на 0,66%. Відповідно у ґрунті збільшувалось і доступних для рослин сполук азоту (на 14,1–55,9 мг/кг), де їх вміст із градації дуже низького перейшов у низьке забезпечення. Застосування лігніту, як чистого, так і збагаченого курячим послідом, позитивно проявилось на вмісті рухомих сполук фосфору і калію. Так, до внесення добрив уміст рухомих сполук фосфору відповідав низькому рівню забезпечення (40,3 мг/кг), а після використання «Organic MAX» їх уміст збільшився на 64,5–109,3 мг/кг ґрунту, що відповідає підвищеному їх рівню. Подібно до фосфору посилилась кількість у ґрунті і рухомих сполук калію, де із низького забезпечення (58,3 мг/кг) їх вміст зріс до підвищеного і високого рівнів, що наочно представлено у *табл. 2*. Варто відмітити, що на цьому полі перед закладенням досліду було проведено вапнування ґрунту, що також позитивно вплинуло на вміст рухомих сполук фосфору і калію.

Отже, застосування «Organic MAX» уже у перший рік показало високу ефективність на збільшення показників родючості ґрунту. Навесні 2023 р. були здійснені дослідження ґрунту на ефективність післядії добрив на основі лігніту. Отримані результати підтвердили, що не зважаючи на те, що кукурудза вимагає високого рівня поживних речовин для свого росту і розвитку і виносить із ґрунту значну їх частину, дія новостворених органічних добрив «Organic MAX» збереглась і на наступний рік. Так, у ґрунті, де застосовували «Organic MAX-30», залишився середній вміст гумусу (2,28%), низький азоту (100,8 мг/кг), підвищений фосфору (129,7 мг/кг) та середній калію (110,0 мг/кг) за слабокислої реакції ґрунтового розчину, де показник pH 5,16 од.

Таблиця 2. **Вплив «Organic MAX» на агрохімічні властивості ґрунту**

Варіанти досліду	Норма внесення, т/га	Гумус, %	N, азот легкогідролізований	P_2O_5, фосфор рухомий	K_2O, калій рухомий	pH_{KCl}, обмінна кислотність, од. pH	Сума увібраних основ, ммоль/ 100 г ґрунту
			мг/кг ґрунту				
2022 р. Поле 2, с. Кам'янське	Контроль, (без добрив)	2,19±0,39	91,3±6,92	40,3±8,00	58,3±14,61	4,76±0,24	10,8±1,01
Лігніт чистий	1,0	2,24±0,40	105,4±8,05	104,8±20,77	123,2±31,11	5,95±0,30	16,7±1,51
«Organic MAX-20»	1,0	2,38±0,41	126,4±9,54	126,3±25,08	170,6±42,55	6,37±0,33	21,3±1,93
«Organic MAX-30»	1,0	2,85±0,51	147,2±11,10	149,6±29,60	183,8±46,21	6,30±0,31	28,1±2,59
2023 р.	Післядія	2,28±0,40	100,8±7,63	129,7±25,66	110,0±27,60	5,16±0,26	17,0±1,59

ВИСНОВКИ

Отже, нетрадиційне екологічно чисте добриво гумусової природи на основі бурого вугілля та курячого посліду в умовах Закарпатської обл. на дернових опідзолених глейових різних за гранулометричним складом ґрунтах за внесення сприяло збільшенню вмісту гумусу на 0,19–0,66%, легкогідролізованого азоту на 14,1–55,9 мг/кг; рухомих сполук фосфору на 64,5–109,3 мг/кг; рухомих сполук калію на 64,9–125,5 мг/кг.

Тому, це добриво можна рекомендувати для: відновлення родючості ґрунту; при рекультивації земельного покриву після видобутку корисних копалин відкритим способом; детоксикації земель, забруднених у результаті техногенної діяльності людини. На кислих ґрунтах перед внесенням обов'язковим є проведення вапнування.

Використання для виробництва добрива місцевої сировини (лігніту) а також відходів тваринного виробництва (курячий послід) забезпечує економічний ефект і збереження довкілля. Враховуючи достатні запаси (лише Ільницьке родовище містить понад 1 млн т бурого вугілля) та доступність добування (відкритим способом) лігніту в Україні, а також необхідність безпечної для довкілля утилізації відходів тваринництва (курячого посліду), отримані результати можуть стати основою для розробки регіональних та загальнодержавних програм стосовно збереження та відтворення родючості ґрунтів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Палапа Н.В., Гончар С.М. Екологічні ризики, пов'язані із сільськогосподарською діяльністю людини. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 1. С. 68–80. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.255189.
2. Бандурович Ю.Ю., Фандалюк А.В., Романова С.А., Полічко В.С. Еколого-агрохімічна оцінка ґрунтів Закарпаття. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 4. С. 46–52. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2017.219728.
3. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення (керівний нормативний документ) / за ред. І.П. Яцука, С.А. Балюка. Київ, 2019. 108 с.
4. Писаренко В.М., Писаренко П.В. Органічні добрива на захисті родючості ґрунту: моногр. Полтава, 2022. 156 с.
5. Дребот О.І., Лазаренко В.І. Оцінка передумов розвитку органічного сільського господарства. *Агроекологічний журнал*. 2023. № 4. С. 108–115. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2023.293810.
6. Бортнік А.М., Бортнік Т.П., Гаврилюк В.А. Ефективність мелясних відходів за вирощування картоплі (*Solanum tuberosum*) як нового перспективного органічного добрива. *Агроекологічний журнал*. 2023. № 1. С. 110–118. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2023.276735.
7. Скрильник Є.В., Артем'єва К.С. Перспективи використання місцевих сировинних ресурсів у виробництві поліпшувачів ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 4 (829). С. 72–78. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202204-09.
8. Зінченко В.О., Вовк О.О., Новик В. Ефективність рідких органічних добрив ЕКО-ГУМАТ в рослинництві. *Біотехнологія для аграрного виробництва та захисту природного середовища:* матеріали XII міжнар. конфер. daRostim. (07–10 верес. 2016 р.). Одеса, 2016. С. 85–87.
9. Зінченко В.О., Іванцов П.Д., Мандрико М.В. Біологічні способи (прийоми) відтворення і підвищення родючості ґрунту в органічному сільському господарстві. *Вісник Житомирського агротехнічного коледжу*. 2020. Вип. 3. С. 27–32.
10. Nowick Wolfgang, Nowick Henry and Zinchenko V.O. The YEN — Chart On the share of chemical and biological nitrogen in the total yield forming of winter wheat on the example of Germany and Ukraine. *Мікробні біотехнології: актуальність і майбутнє:* зб. матеріалів конф. (м. Київ, 19–22 листоп. 2012 р.). Київ: Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України, 2012. С. 211–215.

REFERENCES

1. Palapa, N.V. & Honchar, S.M. (2022). Ekolohichni ryzyky, poviazani iz silskohospodarskoiu diialnistiu liudyny [Environmental risks associated with human agricultural activities]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological Journal, 1*, 68–80. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.255189 [in Ukrainian].
2. Bandurovych, Yu.Yu., Fandaliuk, A.V., Romanova, S.A. & Polichko, V.S. (2017). Ekoloho-ahrokhimichna otsinka gruntiv Zakarpattia [Ecological and agrochemical evaluation of the soils of Zakarpattia]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal, 4*, 46–52. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2017.219728 [in Ukrainian].

3. Yatsuk, I.P. & Baluk, S.A. (Eds.). (2019). *Metodyka provedennya ahrokhimichnoyi pasportyzatsiyi zemel' sil's'kohospodars'koho pryznachennya (kerivnyy normatyvnyy dokument) [Methodology of agrochemical certification of agricultural lands (guideline normative document)]*. Kyiv [in Ukrainian].
4. Pysarenko, V.M. & Pysarenko, P.V. (2022). *Orhanichni dobryva na zakhysti rodiuchosti gruntu: monohrafiia [Organic fertilizers on soil fertility protection: monograph]*. Poltava [in Ukrainian].
5. Drebot, O.I. & Lazarenko, V.I. (2023). Otsinka peredumov rozvytku orhanichnoho silskoho hospodarstva [Assessment of the prerequisites for the development of organic agriculture]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological Journal, 4*, 108–115. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2023.293810 [in Ukrainian].
6. Bortnik, A.M., Bortnik, T.P. & Havryliuk, V.A. (2023). Efektyvnist meliasnykh vidkhodiv za vyroshchuvannia kartopli (*Solanum tuberosum*) yak novoho perspektyvnoho orhanichnoho dobryva [Effectiveness of ground waste for potato cultivation (*Solanum tuberosum*) as a new promising organic fertilizer]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological Journal, 1*, 110–118. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2023.276735 [in Ukrainian].
7. Skrylnyk, Ye.V. & Artemieva, K.S. (2022). Perspektyvy vykorystannia mistsevykh syrovynnykh resursiv u vyrobnytstvi polipshuvachiv gruntu [Prospects for the use of local raw materials in the production of soil improvers]. *Visnyk ahrarnoi nauky — Bulletin of Agricultural Science, 4 (829)*, 72–78. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202204-09 [in Ukrainian].
8. Zinchenko, V.O., Vovk, O.O. & Novyk, V. (2016). Efektyvnist ridkykh orhanichnykh dobryv EKO-HUMAT v roslynnytstvi [Efficiency of liquid organic fertilizers ECO-GUMAT in crop production]. *Biotekhnolohiia dlia ahrarnoho vyrobnytstva ta zakhystu pryrodnoho seredovyshcha: dvanadtsiata mizhnarodna konferentsiia daRostim [Biotechnology for agricultural production and protection of the natural environment: the twelfth international conference daRostim]*. (pp. 85–87). Odesa [in Ukrainian].
9. Zinchenko, V.O., Ivantsov, P.D. & Mandryko, M.V. (2020). Biolohichni sposoby (pryiomy) vidtvorennia i pidvyshchennia rodiuchosti gruntu v orhanichnomu silskomu hospodarstvi [Biological methods (techniques) for reproduction and increase of soil fertility in organic agriculture]. *Visnyk Zhytomyrskoho ahrotekhnichnoho koledzhu — Bulletin of Zhytomyr Agrotechnical College, 3*, 27–32 [in Ukrainian].
10. Nowick, Wolfgang, Nowick, Henry & Zinchenko, V.O. The YEN — Chart On the share of chemical and biological nitrogen in the total yield forming of winter wheat on the example of Germany and Ukraine. *Microbial Biotechnology: Relevance and Future:* Collection of materials of the conference. (pp. 211–215). Kyiv [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 17.04.2024

УДК 632.7:633.1 DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311189

ЕФЕКТИВНІСТЬ МІКОРИЗОУТВОРЮВАЛЬНИХ ГРИБІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКА (*HELIANTHUS* L.)

С.О. Мазур[1], Д.О. Шацман[2], С.С. Бухтик[1]

[1]Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: mazurlanalana@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5025-0134
e-mail: s.buhtik@profi.land; ORCID: 0009-0000-2543-7346

[2]ТОВ «Євросем» (м. Київ, Україна)
e-mail: ds@profi.land; ORCID: 0009-0000-1645-2499

Сучасні екологічні методи ведення агровиробництва потребують зменшення використання хімічних добрив і пестицидів та заміну їх на альтернативні безпечні й водночас високоефективні засоби. Це особливо актуально для технологій вирощування основних експортоорієнтованих культур, серед яких важливе місце в Україні і світі посідає соняшник (Helianthus L.). Перспективним напрямом є застосування біологічних препаратів на основі мікоризоутворювальних грибів, які покращують ріст і розвиток рослин через ефективний симбіоз із кореневою системою. З цією метою досліджували вплив біологічного препарату на основі мікоризоутворювальних грибів Міковітал у технології вирощування соняшника на продуктивність та мікобіом ґрунту. Встановлено, що використання препарату Міковітал спричинило збільшення врожайності соняшника на 25,5% та отримання приросту врожаю насіння 0,59 т/га за поліпшених показників якості насіння (маси 1000 насінин та олійності). До того ж препарат сприяв підвищенню площі активних коренів на всіх етапах розвитку рослин, зокрема, у фазі бутонізації ВВСН 61–69 площа активних коренів зросла на 5,2 см², у фазі цвітіння (ВВСН 71–79) — на 4,9 см², що забезпечило рослинам ефективніше поглинання води та поживних речовин. Виявлено, що збільшення листкової поверхні (у фазі появи 2 трійчастого листка ВВСН 10–19 на 0,5 дм², у фазі бутонізації ВВСН 61–69 — на 1,5 дм², у фазі цвітіння ВВСН 71–79 — на 2,1 дм²) сприяло підвищенню фотосинтетичної активності та продуктивності рослин. Застосування препарату позитивно вплинуло на ґрунтовий мікобіом, зокрема відмічено посилення чисельності корисних мікроорганізмів у ґрунті, як-от амоніфікувальні бактерії та стрептоміцети, а також появі нових видів мікроміцетів, таких як Trichoderma і Glomus. Зазначене свідчить про розширення біорізноманіття ґрунту агроценозу соняшника, а також домінування процесів деструкції над синтезом органічної речовини ґрунту. Загалом, використання біологічного препарату Міковітал на основі мікоризоутворювальних грибів виявилося ефективним засобом для поліпшення росту, розвитку та врожайності соняшника, забезпечення стабільності рослин у стресових умовах, а також оптимізації структури ґрунтового мікробіому.

Ключові слова: *агроекосистема, мікоризація, гетеротрофне живлення рослин, мікробіом, мікроорганізми, агротехнології, олійні культури.*

ВСТУП

Сучасні вимоги аграрного виробництва орієнтують агровиробників застосовувати заходи підвищення врожайності сільськогосподарських культур за одночасного зменшення використання хімічних добрив і пестицидів. Це особливо актуально для вирощування соняшника, однієї з найважливіших олійних культур у світі та Україні [1]. Серед перспективних напрямів у цьому контексті є застосування препаратів на основі мікоризоутворювальних грибів, які здатні поліпшити ріст та розвиток рослин за рахунок ефективного симбіозу з кореневою системою.

Мікориза — це симбіоз грибів та коренів вищих рослин, що забезпечує покращене поглинання води та поживних речовин, особливо фосфору, азоту і мікроелементів.

© С.О. Мазур, Д.О. Шацман, С.С. Бухтик, 2024

Низкою досліджень доведено, що мікоризоутворювальні гриби можуть істотно підвищити стійкість рослин до стресових умов, як-от посуха, засолення та патогени. Крім того, вони сприяють поліпшенню структурних властивостей ґрунту та активізації мікробіоти, що загалом покращує екологічний стан ґрунту та його родючість [2].

Метою цієї роботи є вивчення впливу біологічного препарату Міковітал на основі мікоризоутворювальних грибів на ріст, розвиток та продуктивність соняшника (*Helianthus* L.). Зокрема, досліджується його вплив на врожайність, морфологічні показники рослин, а також на чисельність і склад ґрунтових мікроорганізмів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Нині світова спільнота екологів, біологів, ґрунтознавців та інших спеціалістів занепокоєна серйозністю проблеми втрати здатності ґрунту ефективно функціонувати [3], до того ж такі загрози набули глобального характеру. Однією з найзначніших проблем є виснаження ґрунту, яка спричиняє втрату родючого шару та погіршення

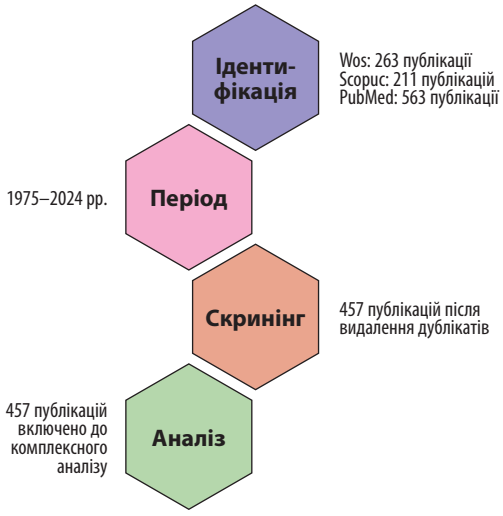


Рис. 1. Етапи вибору публікацій для комплексного аналізу з урахуванням підходу PRISMA

Примітка: розроблено авторами.

його якості. Іншим аспектом є зниження рівня органічного вуглецю в ґрунті, що діє на його родючість та здатність утримувати воду й поживні речовини. Надмірне використання додаткових ресурсів, зокрема пестицидів та мінеральних добрив, призводить до дисбалансу поживних речовин у ґрунті, що негативно впливає на його функціонування, зменшуючи біорізноманіття ґрунтових мікроорганізмів [4]. Зниження родючості ґрунтів у світі є наслідком сільськогосподарських практик, як-от інтенсивні технології вирощування, монокультура та неправильні методи обробітку ґрунту. Все це зумовлює втрату ґрунтової родючості через зменшення врожайності сільськогосподарських культур [5].

У цьому контексті використання мікоризних грибів [6] у технологіях вирощування сільськогосподарських культур набуває перспективності серед екологічних, науково обґрунтованих підходів до підвищення родючості ґрунту. Відтак вони сприяють покращанню здатності рослин поглинати воду та поживні речовини, як-от азот, фосфор, калій [7], що, своєю чергою, позитивно впливає на їх продуктивність та стан.

Бібліометричний аналіз із використанням систематичного огляду відповідно до підходу PRISMA (*рис. 1*) на основі бібліометричних даних PubMed за допомогою програмного забезпечення VOSviewer та проведеного факторно-кластерного аналізу Torres-Reyna, виявив, що за ключовими словами «Мікориза», «Рослинництво» та «Вплив мікоризоутворювальних грибів на сільськогосподарські культури» нині світова наукова спільнота опублікувала близько 2500 наукових праць.

Серед яких слід відмітити такі напрями, як вплив мікоризоутворювальних грибів на мікроорганізми ґрунту, на симбіотичну діяльність мікробіоти та біорізноманіття. Наразі ведеться скринінг механізмів та молекулярно-генетичних властивостей мікоризоутворювальних грибів для підтримки стабільності та родючості ґрунтів. Варто зазначити, що активного розвитку дослідження присвячені мікоризоутворюваль-

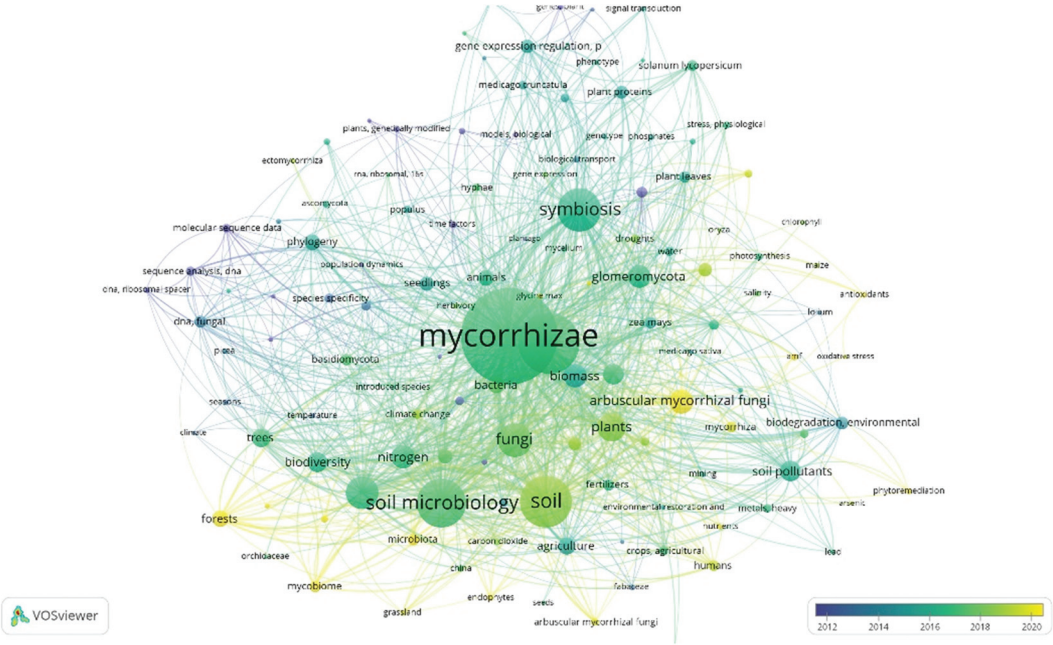


Рис. 2. Аналіз публікаційної активності впливу мікоризоутворювальних грибів на мікробіом ґрунту

Примітка: розроблено авторами з використанням програмного забезпечення VOSviewer (URL: https://www.vosviewer.com/).

ним грибам та їх впливу на сільськогосподарські культури, зокрема соняшник (*Helianthus* L.), розпочалися лише в XXI ст. і ведуться з використанням найсучасніших методів дослідження (*рис. 2*).

Мікоризні гриби є основою трофічних взаємозв'язків в екосистемах та відіграють важливу роль у підтримці стабільності й родючості ґрунтів [8]. Відомо, що значну частку вуглеводів (до 20%) [9; 10] мікоризні гриби отримують від рослини-хазяїна. До того ж ліпіди, які є важливим джерелом органічного вуглецю для грибів, також постачаються рослиною-хазяїном [10; 11]. Виявлено, що у мікоризних грибів відсутні гени, що кодують біосинтез жирних кислот, без яких їх ріст та розвиток неможливий. Гриби, завдяки симбіозу з рослинами-хазяїнами, використовують жирні кислоти, які транспортуються до них рослинами [12].

Мікоризні гриби не лише впливають на ріст, розвиток та продуктивність рослин, але також покращують характеристики ґрунту, як-от агрегація ґрунту, доступність поживних речовин у ґрунті, утримання води, активність мікроорганізмів, кругообіг азоту, вуглецю, фосфору, а також здійснює корекцію кислотності ґрунту [13; 14]. Наприклад, Wang et al. (2020) [15; 16] наголошують, що інокуляція арбускулярними мікоризними грибами спричиняє збільшення поглинання фосфору на 30–40% порівняно з контрольними рослинами.

Дослідження також свідчать про важливу роль грибів у забезпеченні стійкості рослин до різних стресових умов, що робить їх важливим компонентом екосистем у сучасних умовах надмірного техногенного навантаження та змін клімату. Дослідженнями Sun et al. (2019) [17] встановлено, що рослини *Helianthus* L., інокульовані арбускулярними мікоризними грибами, виявляють підвищену стійкість до водного дефіциту, що виражається у вищій водоутримувальній здатності листків та поліп-

шеній ефективності водокористування. Це відбувається завдяки покращанню поглинання мінеральних елементів і води, а також підвищенню ефективності фотосинтезу. Наприклад, за даними експериментів, рослини соняшника, оброблені арбускулярними мікоризними грибами, мали значно більшу висоту, кількість листків та масу кореневої системи порівняно з контролем [18].

Мікоризоутворювальні гриби також сприяють підвищенню стійкості соняшника до біотичних та абіотичних стресів. Зокрема, мікориза може знижувати негативний вплив засолення ґрунту, важких металів та патогенів. Це досягається завдяки поліпшенню фізіологічного стану рослин та активації їх захисних механізмів, включаючи синтез антиоксидантних ферментів та посилення вмісту фітогормонів [19; 20].

Інші дослідження зосереджуються на взаємодії таких грибів з іншими ґрунтовими мікроорганізмами та впливом цієї взаємодії на ріст і розвиток соняшника. Gao et al. (2021) [21] встановили, що спільна інокуляція арбускулярними мікоризними грибами та азотфіксувальними бактеріями значно підвищує біомасу рослин і вміст хлорофілу у листках, що свідчить про синергетичний ефект цих мікроорганізмів. Також слід наголосити, що застосування мікоризоутворювальних грибів за вирощування *Helianthus* L. сприяє зниженню потреби у хімічних добривах, що має важливе екологічне значення [22]. Дослідження Mahdi et al. (2022) [23] довели, що така інокуляція дає можливість зменшити використання фосфорних добрив на 25–30% без зниження врожайності. Сучасні дослідження підтверджують значний потенціал використання мікоризоутворювальних грибів у агротехніці соняшника. Інокулянти на основі мікоризоутворювальних грибів не лише покращують мінеральне живлення і ріст рослин, але й підвищують їх стійкість до стресів та зменшують потребу у хімічних добривах, що є важливим кроком до сталого сільського господарства.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проведено в Інституті агроекології і природокористування НААН та дослідному полігоні для практичних польових досліджень ТОВ «Поле знань» (с. Циганське Полтавського р-ну Полтавської обл. (49.59497902582635, 34.27436857272788). Методологічною основою наукових досліджень є моніторингові дослідження, системний та статистичний аналіз. Дослідження проводили на соняшнику ультрараннього гібрида Top Сумо, що характеризується стійкістю до вовчка (*Gryllotalpa gryllotalpa* L.) та несправжньої борошнистої роси (*Peronosporales*) (оригінатор — Інститут рільництва і овочівництва НС Семе, м. Нові Сад, Сербія).

Основним обробітком ґрунту на дослідних ділянках стала весняна, завглибшки 20–25 см, дворазова передпосівна культивація на глибину 4–6 см. Попередником був соняшник, удобрення не вносилося. Повторюваність досліду триразова з рандомним розміщенням ділянок (20,16 м^2). Відбори здійснювали впродовж онтогенезу рослин, у фазі ВВСН 10–19 (поява 2 трійчастого листка), ВВСН 61–69 (цвітіння), ВВСН 71–79 (налив зерна).

Система захисту: досходове внесення гербіциду Екстракорн 4,3 л/га на 3-тю добу після сівби, післясходове внесення гербіциду Гранстар у фазі 4–6 листків культури.

Міковітал — біологічний препарат на основі мікоризоутворювального гриба *Tuber melanosporum* з наявністю біологічно активних продуктів метаболізму цього гриба (ТУ У 20.2-2284902511-001:2017). Насіння соняшника гібрида Top обробляли із розрахунку 1,5 л/т насіння безпосередньо перед посівом.

Погодно-кліматичні умови періоду дослідження відповідали оптимальним значенням, хоча слід зауважити, що за вегетаційний період у середньому, порівняно із середньою багаторічною нормою, випало на 22% більше опадів. Недостача опадів за червень була компенсована за рахунок накопичення запасів у травні та надходженням у липні (*рис. 3*). Температурний режим

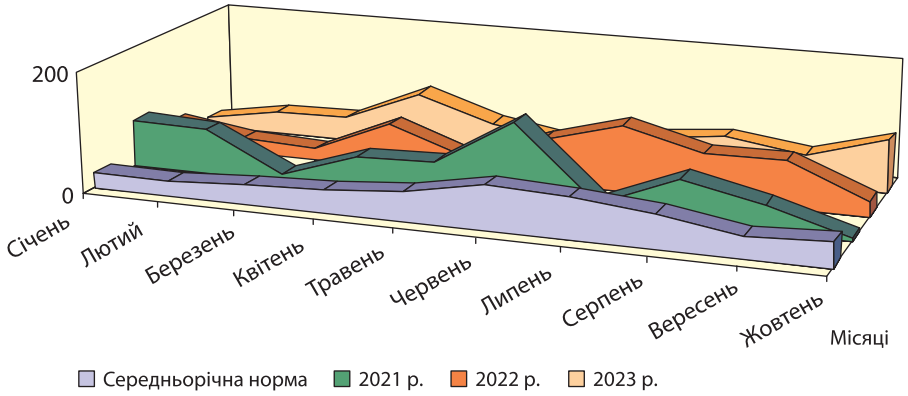


Рис. 3. Динаміка надходження опадів упродовж вегетаційного періоду соняшника

за період вегетації соняшника був підвищеним (сума активних температур за період квітень–жовтень становила 2852°С), що вказує на її поступове збільшення.

Агрохімічне обстеження земель сільськогосподарського призначення проводили відповідно до керівного нормативного документа «Методика суцільного ґрунтово-агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України», «Еколого-агрохімічна паспортизація полів та земельних ділянок», «Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення», якісну оцінку обстежених ґрунтів — за Р. Панасом.

Зразки ґрунту відбирали з глибини 0–30 см відповідно до ДСТУ 4287:2004. У них визначали вміст гумусу за ДСТУ 7828:2015, реакцію ґрунтового середовища за ДСТУ 8346:2015, вміст сполук азоту, що легко гідролізуються за ДСТУ 7863:2015, рухомих сполук фосфору та калію за ДСТУ 4115-2002.

Відбір зразків ґрунту для мікробіологічних досліджень, визначення чисельності мікроорганізмів основних еколого-трофічних та таксономічних груп проводили загальноприйнятими методами (ДСТУ 7847:2015). Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунту здійснювали за К. Андреюк, Г. Іутинською зі співавт., розраховуючи екологічні коефіцієнти [24].

Біомасу мікроорганізмів у ґрунті виявляли регідратаційним методом шляхом реєстрації кількості мікробної маси за сумою вуглецю органічних речовин і розраховували за формулою:

$$X = (Св - Ск) / (0{,}3), \qquad (1)$$

де X — біомаса (мкг С/г ґрунту); $Св$ і $Ск$ — вміст розчинних органічних речовин відповідно у висушеному і контрольному ґрунті; 0,3 — перерахунковий коефіцієнт, який за своїм значенням відображає частку клітинних компонентів, які перейшли в розчин у результаті висушування (регідратації) [24].

Інтенсивність емісії диоксиду вуглецю з ґрунту визначали абсорційним методом Штатнова за кількістю вуглекислого газу, який утворився у процесі респірації «дихання» ґрунту і поглинання розчином NaOH, обчислювали за формулою:

$$CO_2 = \frac{2{,}2 \times (V_1 + V_2)}{m \times T}, \text{ мг/г за добу}, \qquad (2)$$

де V_1 — кількість 0,1 н розчину NaOH, мл; V_2 — кількість 0,1 н розчину HCl, мл; m — маса ґрунту, г; T — час інкубації, доба.

Показник частоти трапляння (%) видів мікроміцетів визначали за загальноприйнятою методикою [25].

Відбори для фенологічних досліджень здійснювали впродовж онтогенезу рослин, у фази ВВСН 10–19 (поява 2 трійчастого листка), ВВСН 61–69 (цвітіння), ВВСН 71–79 (налив зерна).

Визначення продуктивності (висота, маса рослин), а також площу листкової поверхні рослин соняшника здійснювали згідно із загальноприйнятою методикою [25].

Площу листкової поверхні розраховували, використовуючи параметри довжини та ширини листка за формулою Б.А. Доспєхова [24]:

$$S = k \times l \times n, \quad (3)$$

де S — площа листків, см^2; k — середній поправочний коефіцієнт, що становить 0,67; l — довжина листків, см; n — ширина листка в найширшому місці, см.

Математичний аналіз здійснювали та опрацьовували за допомогою програм Statistica 10 (StatSoft. Inc., 2011) і Microsoft Excel 2010. Для виявлення відмінностей між середніми значеннями застосовували критерій Стьюдента. Порівняння великих масивів даних для встановлення кореляційних зв'язків проводили на основі багатофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) — визначали середні значення, дисперсію, похибки.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Дослідження впливу препарату Міковітал у технології вирощування соняшника (*Helianthus* L.) здійснювали на території, яка характеризується достатнім рівнем зволоженням. Ґрунт дослідної ділянки — чорнозем типовий малогумусний, що належить до групи найбільш сприятливих ґрунтів для вирощування польових культур. Попереднє агрохімічне обстеження ґрунту дало змогу нам встановити, що вміст гумусу в горизонті 0–20 см становив 3,9%, а в горизонті 35–45 см — 3,05%. Слід відзначити, що ємність поглинання в орному шарі була досить високою і сягала 32,5 мг·екв/100 г ґрунту, реакція ґрунтового розчину виявилася слабокислою (pH = 6,2).

Визначено, що в орному шарі досліджуваного ґрунту міститься близько 11,5 мг азоту сполук, що гідролізується (за ДСТУ 7863:2015), 11,3 мг рухомих сполук фосфору (за ДСТУ 4115-2002), та 15,6 мг/кг ґрунту калію (за ДСТУ 4115-2002).

Аналізуючи дані щодо впливу препарату Міковітал на ріст та розвиток рослин, встановлено, що у фазі появи 2 трійчастого листка застосування мікоризоутворювального препарату спричинило незначне збільшення висоти рослин (на 3 см), що свідчить про стимулювальний ефект препарату на початкових етапах розвитку. У фазі бутонізації та цвітіння висота рослин практично не відрізняється від контролю, що може доводити те, що на більш пізніх етапах розвитку рослин висота стабілізується і вплив біопрепарату на цей показник нівелюється.

У сучасному агрономічному дослідженні значна увага приділяється розвитку кореневої системи, яка є ключовим елементом забезпечення рослин водою та поживними речовинами. Одним із важливих показників ефективності кореневої системи є площа активних коренів та питома активна поверхня кореневої системи, що характеризує здатність рослин до поглинання необхідних для їх життєдіяльності речовин. Окремо треба наголосити, що саме мікоризоутворювальні гриби через формування додаткових гіф та стимуляції розвитку кореневих волосків, які проникають у ґрунт, розширюють розмір кореневої системи, а їх гіфи діють як продовження кореневої системи, збільшуючи загальну площу контактної поверхні з ґрунтом. Це дає змогу рослинам поглинати більшу кількість води і поживних речовин, як-от фосфор, азот, калій та мікроелементи, які часто є важкодоступними у звичайних умовах.

Встановлено, що у фазі появи 2 трійчастого листка у рослин соняшника площа активних коренів рослин, оброблених Міковіталом, підвищується на 1,7 см^2 порівняно з контролем. Це незначне зростання свідчить про початковий позитивний вплив препарату на розвиток кореневої системи. На ранніх стадіях росту рослин коренева система закладає основу для майбутнього розвитку, тому навіть невелике збільшення площі активних коренів може мати важливе значення, що зумовлено стимуляцією ділення клітин та покращанням мікроекологічних умов у ризосфері, що

сприяє посиленню інтенсивного розвитку кореневих волосків і підвищенню загальної площі активної поверхні кореневої системи (*табл. 1*).

У фазі бутонізації спостерігається значне збільшення площі активних коренів на 5,2 см^2 за впливу Міковіталу, що засвідчило підвищення потреби рослин у воді та поживних речовинах у цей критичний період розвитку. Фаза бутонізації є одним із найбільш енергозатратних етапів, коли рослини інтенсивно використовують ресурси для формування бутонів та підготовки до цвітіння. Підвищена площа активних коренів забезпечує більш ефективне поглинання води та мінеральних речовин, необхідних для підтримки високих темпів метаболічних процесів. Міковітал у цьому контексті діє як стимулятор, який активізує ріст кореневої системи, що дає можливість рослинам краще адаптуватися до умов зовнішнього середовища та забезпечує їхні потреби на етапі бутонізації.

У фазі цвітіння також спостерігали збільшення площі активних коренів на 4,9 см^2 за дії Міковіталу. Це вказує на тривалий вплив препарату щодо розвитку кореневої системи. Під час цвітіння рослини потребують стабільного постачання води й поживних речовин для підтримки процесів фотосинтезу та репродуктивного розвитку. Збільшена площа активних коренів дає змогу рослинам більш ефективно задовольняти ці потреби, забезпечуючи стійкість до стресових чинників, як-от посуха або нестача поживних речовин у ґрунті. Продовження впливу Міковіталу на кореневу систему у фазі цвітіння пов'язано з його здатністю підтримувати високий рівень кореневої активності, що є критично важливим для забезпечення оптимальних умов для плодоношення.

Отже, підвищення площі активних коренів на всіх етапах розвитку за використання біологічного препарату Міковітал свідчить про посилення питомої активної поверхні кореневої системи. Проведений кореляційний аналіз показників вказує на пропорційну лінійну залежність, оскільки коефіцієнт детермінації виявився близь-

Таблиця 1. **Вплив мікоризоутворювальних грибів на біометричні показники соняшника**

Показник	Контроль	Міковітал, 1,5 л/т	$НІР_{0,5}$
ВВСН 10–19 (поява 2 трійчастого листка)			
Висота рослин, см	95	98	1,2
Площа активних коренів, см^2	56,9	58,6	1,34
Питома активна поверхня кореневої системи	0,21	0,21	0,01
Площа листкової поверхні, дм^2	9,4	9,9	1,3
Індекс листкової поверхні, м^2/м^2	1,49	1,54	
ВВСН 61–69 (цвітіння)			
Висота рослин, см	197	198	1,2
Площа активних коренів, см^2	90,1	95,3	1,34
Питома активна поверхня кореневої системи	0,28	0,37	0,01
Площа листкової поверхні, дм^2	22,6	24,1	1,3
Індекс листкової поверхні, м^2/м^2	3,40	3,76	
ВВСН 71–79 (налив зерна)			
Висота рослин, см	199	199	1,2
Площа активних коренів, см^2	91,5	96,4	1,34
Питома активна поверхня кореневої системи	0,31	0,39	0,01
Площа листкової поверхні, дм^2	25,7	27,8	1,3
Індекс листкової поверхні, м^2/м^2	4,01	4,34	

ким до одиниці ($R = 0,81$), між показником площі активних коренів та показником питомої активної поверхні кореневої системи. Особливо значний приріст відзначається у фазах бутонізації та цвітіння (на 0,09 і 0,08 відповідно), що вказує про стимуляцію розвитку кореневих волосків та покращання поглинальної здатності кореневої системи.

Ще одним критичним показником підвищення врожайності сільськогосподарських культур є площа листкової поверхні та його індекс, що визначає здатність рослин до фотосинтезу, випаровування води й обміну газами. Виявлено, що у фазі появи 2 трійчастого листка площа листкової поверхні рослин із застосуванням мікоризоутворювального препарату збільшувалася на 0,5 дм^2, що засвідчило ранній стимулювальний ефект препарату, який сприяє інтенсивнішому розвитку асиміляційного апарату. На етапі бутонізації посилення площі листкової поверхні становило 1,5 дм^2, що вказує на поліпшену здатність рослин поглинати більше світлової енергії та продуктивніше проводити фотосинтез, що є основою для подальшого успішного розвитку. У фазі цвітіння збільшення площі листкової поверхні досягає 2,1 дм^2. Цей показник є особливо важливим, оскільки у даній фазі рослини потребують максимального обсягу асиміляційної поверхні для забезпечення процесів формування плодів. Посилення площі листкової поверхні за використання Міковіталу вказує на його здатність підтримувати високий рівень метаболічної активності рослин навіть у критичні періоди розвитку.

Дослідженням впливу біологічного препарату Міковітал на розвиток соняшника встановлено, що застосування препарату призвело до збільшення середнього діаметра кошика від 16,1 см (контроль) до 17,3 см, що свідчить про покращання умов для росту і розвитку рослини, оскільки ширший діаметр кошика часто асоціюється з більшою кількістю та якістю насіння. До того ж також зросла й маса 1000 насінин та поліпшився показник олійності (від 51,48% (контроль) до 52,61% (Міковітал)) насіння соняшника, що також підтверджує гіпотезу позитивного впливу біологічного препарату мікоризоутворювальної дії Міковітал на ріст та розвиток рослин, що є важливим для підвищення якості врожаю. Слід зазначити, що водночас показник лузжистості залишався на практично однаковому рівні (0,98–0,99%), що аргументує стабільність розвитку соняшника за використання біологічного препарату Міковітал (*табл. 2*).

Урожайність є інтегральним показником, який відображає загальну продуктивність агроценозу та визначає економічну ефективність вирощування сільськогосподарських культур. У контрольних зразках урожайність *Helianthus* L. становила 2,31 т/га. Після застосування Міковіталу цей показник підвищився до 2,90 т/га, що відповідає збільшенню на 0,59 т/га. Враховуючи критичне значення різниці ($НІР_{0,5}$) у 0,15 т/га, цей приріст є статистично значущим і свідчить про ефективність препарату. Таке істотне підвищення врожайності можна пояснити сукупним впливом Міковіталу на кілька ключових показників, як-от діаметр кошика, маса 1000 насінин та олійність.

Таблиця 2. **Урожайність соняшника та якісні показники насіння за застосування мікоризоутворювального препарату**

Показник	Контроль	Міковітал, 1,5 л/т	$НІР_{0,5}$
Діаметр кошика, см	16,1	17,3	1,2
Маса 1000 насінин, г	56,2	57,8	2,4
Лузжистість, %	0,98	0,99	
Олійність, %	51,48	52,61	
Урожайність, т/га	2,31	2,90	0,15

Взаємодія ґрунтових мікроорганізмів, ексудатів соняшника та *Vitasergia svidasoma* (мікоризоутворювальний ендофіт, що сприяє формуванню збалансованого середовища мікробіоти ґрунту створюють сприятливі умови для росту та розвитку мікроорганізмів ризосферного ґрунту (*рис. 4*). Дослідження мікробіому ґрунту соняшника за оброблення насіння біологічним препаратом Міковітал у нормі внесення 1,5 л/т продемонстрували значне підвищення кількості мікроорганізмів у ризосферному ґрунті вже у фазі появи 2 трійчастого листка.

Чисельність амоніфікувальних мікроорганізмів, які мінералізують азотовмісні органічні речовини збільшувалася, і у фазі трійчастого листка їх кількість перевищувала контрольний зразок у 1,3 раза, а у фазі бутонізації — вже у 19,2 раза, що виявляє переважання процесів деструкції над синтезом органічної речовини в агроценозі соняшника. Слід відмітити, що у фазі цвітіння спостерігали деяке зменшення кількості амоніфікувальних бактерій, проте переважання їх кількості порівняно з контролем сягало — 3,7 раза.

Чисельність мікроорганізмів, що здатні засвоювати мінеральний азот і, у такий спосіб, брати участь у розкладі рослинних і тваринних решток у ґрунті, а також у процесах мінералізації гумусу, збільшувалася порівняно з контролем у фазі появи 2 трійчастого листка і становила 3,75 млн КУО г/ґрунту проти контролю (0,8 млн КУО г/ґрунту). У фазі цвітіння ці мікроорганізми за внесення біологічного препарату Міковітал досягли кількості у 17,2 млн КУО г/ґрунту порівняно з контролем (10,4 млн КУО г/ґрунту).

Подібну тенденцію відмічено і у розвитку стрептоміцетів, які активно беруть участь у синтезі біологічно активних речовин гумусу та свідчать про дієвість ґрунтової екосистеми. Так, у період появи 2 пари трійчастого листка їх кількість порівняно

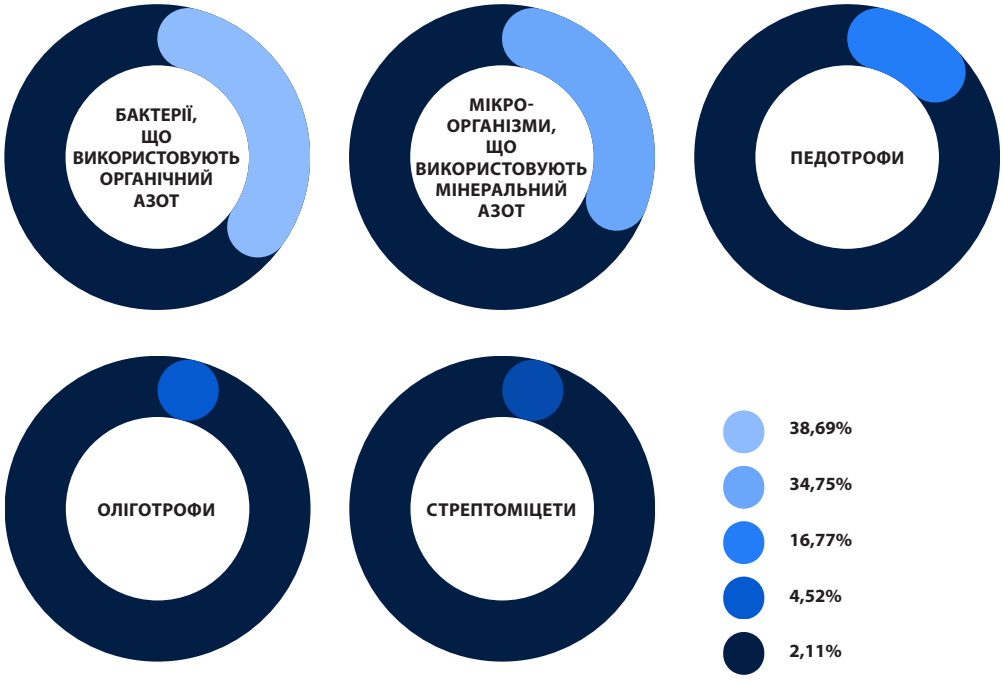


Рис. 4. Влив препарату Міковітал на ґрунтову біоту за вирощування соняшника

з контролем перевищувала більш ніж у 4,1 раза, тоді як у період бутонізації та цвітіння – у 1,7 та 1,9 раза. Такі дані доводять, що внесення біологічного препарату Міковітал на основі мікоризоутворювального гриба *Vitasergia svidasoma* створює сприятливі умови для стрептоміцетів.

У процесі вегетації рослин соняшника спостерігалося поступове збільшення вмісту оліготрофних мікроорганізмів у ґрунті. Чим пізніший етап онтогенезу, тим численніша оліготрофна група мікроорганізмів у мікробіоценозі, функція якої полягає у завершенні мінералізаційних процесів. Максимальну кількість оліготрофів відзначали у фази бутонізації та цвітіння (13,5 і 13,7 млн КУО г/ґрунту). Ця трофічна група мікроорганізмів відноситься до К-стратегів і завершує мінералізацію органічних сполук в екосистемах.

Окремо слід відобразити кількість мікроміцетів ґрунту (*рис. 5*), оскільки закономірно, що внесення мікоризоутворювального препарату на основі гриба *Vitasergia svidasoma* сприятиме збільшенню останніх у ґрунті. Дослідженнями підтверджено таку взаємозалежність ($R = 0{,}98$) та встановлено, що кількість мікроміцетів підвищувалася в понад 35–100 разів залежно від фази розвитку соняшника. До того ж варто наголосити, що за результатами досліджень, виявлено, що в контрольних зразках ґрунту серед видового складу мікобіому переважали *Alternaria* (з частотою трапляння — 63,5%), *Aspergillus* (41,8), *Penicillium* (29,4) та *Fusarium* (17,5%). Переважання фітопатогенних мікоміцетів у ризосферному ґрунті соняшника засвідчує порушення збалансованості між сапротрофними і патогенними видами (Туров-

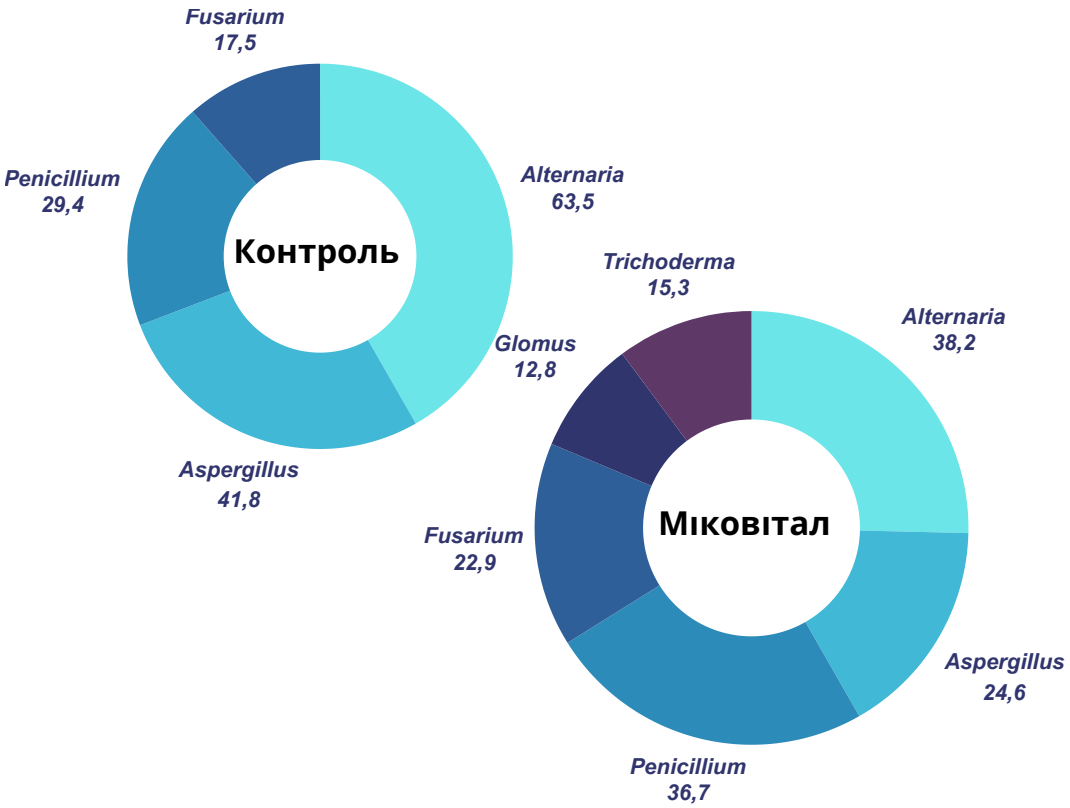


Рис. 5. Вплив Міковіталу на мікобіоту ризосферного ґрунту соняшника

нік, 2021), що зумовлює біологічне забруднення агроценозів шляхом накопичення інфекційних елементів та токсинів.

Натомість внесення мікоризоутворювального мікроміцету сприяло трансформації структури комплексу мікоміцетів та привело до змін у домінувальних видах останніх. Зокрема, після обробки насіння соняшника біологічним препаратом Міковітал було відзначено зменшення частоти трапляння мікроміцетів роду *Alternaria* до 38,2% та *Aspergillus* до 24,6%. Однак відбулося збільшення частоти трапляння видів роду *Penicillium* до 36,7% та *Fusarium* до 22,9%. Окрім того, у зразках ґрунту, оброблених мікоризоутворювальним грибом, було виявлено появу представників родів грибів *Trichoderma* (з частотою трапляння 15,3%) та *Glomus* (12,8%), які не були зафіксовані у контрольних зразках. Отримані результати доводять те, що застосування мікоризоутворювальних грибів може бути ефективним засобом для підвищення біорізноманіття ґрунту, що, своєю чергою, позитивно впливає на розвиток рослин та врожайність.

Дослідження спрямованості мікробіологічних процесів у ґрунті (*табл. 3*) дало можливість здійснити більш глибокий аналіз змін у структурі ґрунтово-біотичного комплексу, які відбувалися за внесення у ґрунт біологічного препарату на основі мікоризоутворювального гриба *Vitasergia svidasoma*.

Підвищення показника педотрофності ($К_{пед.} \approx 0,4$) свідчить про збільшення інтенсивності розкладу органічної речовини ґрунту, зокрема гумусових сполук, а посилення оліготрофності ($К_{ол.} \approx 0,3$) ґрунту вказує на зниження вмісту у ґрунті поживних речовин. Зокрема слід відзначити середню забезпеченість ґрунтової мікробіоти елементами живлення у всіх варіантах досліду впродовж вегетації соняшника та формування оптимальних умов для функціонування мікробіоти ґрунтового комплексу та, відповідно, її активність у трансформації вуглеводів ґрунту і зв'язування вільного азоту свідчить про переважання у ґрунті процесів деструкції над синтезом, а також спостерігається збільшення використання мікроорганізмами мінеральних форм азоту в своєму життєвому циклі.

У контексті дослідження необхідно підкреслити, що коефіцієнт мінералізації у контрольних зразках перевищував одиницю, що вказує на переважання процесів деструкції над процесами синтезу. Це явище є типовим для умов, де домінують мікробні процеси розкладання органічних речовин

Таблиця 3. **Екологічні коефіцієнти ґрунту за внесення мікоризоутворювального гриба *Vitasergia svidasoma* у посівах соняшника**

Варіант	Коефіцієнт			
	мінералізації / іммобілізації ($К_{мін.}$)	педотрофності ($К_{пед.}$)	оліготрофності ($К_{ол.}$)	трансформації органічної речовини ($К_{тор.}$)
ВВСН 10–19 (поява 2 трійчастого листка)				
Контроль	0,38	0,3	0,29	8,1
Міковітал, 1,5 л/т	0,39	0,6	0,45	10,3
ВВСН 51–59 (бутонізації)				
Контроль	1,67	0,1	0,31	9,8
Міковітал, 1,5 л/т	0,73	0,2	0,31	17,9
ВВСН 61–69 (цвітіння)				
Контроль	1,67	0,2	0,31	9,7
Міковітал, 1,5 л/т	0,74	0,5	0,34	15,4

із формуванням мінеральних сполук, що відбивається на збільшенні кількості вивільнених різних хімічних елементів. Однак застосування біологічного препарату на основі грибів, спрямованого на оптимізацію процесів біотрансформації органічних речовин, істотно вплинуло на динаміку процесів у ґрунтовій системі. Особливо відзначено, що вже на стадії бутонізації культури рослин з'явилися очевидні ознаки зміни тенденції у напрямі посилення синтезу важливих для рослин елементів. Ця тенденція спостерігалася впродовж усього періоду вегетації, що засвідчило стабільність та ефективність біологічного препарату в умовах експерименту.

Біологічні властивості ґрунтів безпосередньо залежать від біорізноманіття ґрунтових мікроорганізмів та функціонування різних еколого-трофічних груп [26; 27]. Одним із ключових функціональних параметрів, що відображає активність ґрунтової мікробіоти, є інтенсивність виділення діоксиду карбону.

Визначення активності процесу емісії діоксиду карбону (*рис. 6*) з ґрунту за застосування біопрепарату Міковітал на посівах соняшника на різних етапах його росту та розвитку (фаза початку 2 трійчастого листка, фаза бутонізації, фаза цвітіння) вказує на складний взаємозв'язок між рослинами, ґрунтом та мікробіологічними процесами. На основі аналізу даних, отриманих у цьому дослідженні, встановлено, що інтенсивність емісії діоксиду карбону зростала за застосовування біопрепарату Міковітал. Наприклад, на етапі початку 2 трійчастого листка інтенсивність емісії CO_2 у зразках із Міковіталом перевищувала значення контрольних груп. Це наголошує про підвищену активність ґрунтової мікробної популяції, що здатна активно переробляти органічні речовини, доступні для них завдяки дії біопрепарату. На етапі бутонізації та цвітіння також спостерігалося збільшення інтенсивності емісії CO_2 у зразках з Міковіталом порівняно з контролем, що зумовлено підвищеним постачанням органічних речовин у ґрунті через стимуляцію росту рослин або з покращанням умов для мікробного розкладання органічної речовини.

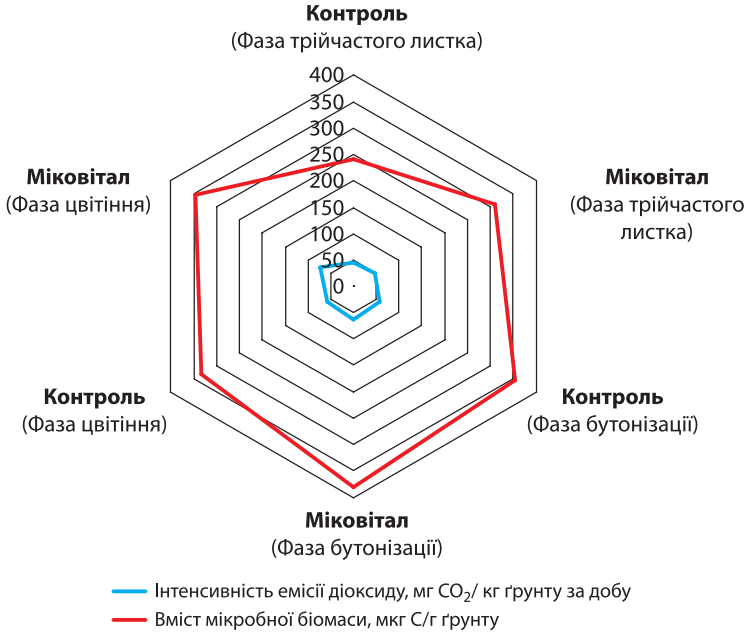


Рис. 6. Вплив Міковіталу на показники біологічної активності мікроорганізмів ґрунту

Ще одним ключовим показником збереження ґрунтової родючості і стійкості екосистем є вміст мікробної біомаси. Встановлено, що у контрольних зразках вміст мікробної біомаси з початкового рівня 240,61 мкг С/г ґрунту підвищився до 344,72 мкг С/г ґрунту у фазі цвітіння. Цей приріст вказує на природні процеси біодеградації та активності мікроорганізмів у ґрунті під впливом органічного матеріалу, що надходить від рослин та інших джерел. За оброблення насіння соняшника біологічним препаратом Міковітал спостерігався збільшений вміст мікробної біомаси зі значення 308,68 мкг С/г ґрунту на початковому етапі до 380,75 мкг С/г ґрунту у фазі цвітіння, що вказує про чіткий тренд до посилення активності мікробної біоти внаслідок впливу біопрепарату Міковітал. Високий рівень мікробної біомаси може сприяти підтримці родючості ґрунту та забезпеченню необхідних поживних речовин для рослин.

ВИСНОВКИ

Дослідження впливу біологічного препарату Міковітал на основі мікоризоутворювальних грибів у технології вирощування соняшника (*Helianthus* L.) засвідчило позитивний вплив на ріст, розвиток та продуктивність рослин. Доведено, що застосування Міковіталу призвело до збільшення врожайності соняшника від 2,31 т/га (контроль) до 2,90 т/га, що є статистично значущим приростом за покращання якісних показників насіння (маси 1000 насінин та олійності). До того ж препарат сприяв посиленню площі активних коренів на всіх етапах розвитку рослин, зокрема, у фазі бутонізації площа активних коренів збільшилася на 5,2 см^2, а у фазі цвітіння — на 4,9 см^2, що забезпечило рослинам ефективніше поглинання води та поживних речовин. Встановлено, що підвищення листкової поверхні (у фазі появи 2 трійчастого листка на 0,5 дм^2, у фазі бутонізації — на 1,5 дм^2, а у фазі цвітіння — на 2,1 дм^2) сприяло покращанню фотосинтетичної активності та загальної продуктивності рослин.

Препарат сприяв збільшенню чисельності мікроорганізмів у ґрунті, як-от амоніфікувальні бактерії та стрептоміцети, а також появі представників мікроміцетів, таких як *Trichoderma* та *Glomus*, що позитивно вплинуло на біорізноманіття та сприяло поліпшенню забезпечення рослин поживними речовинами. Загалом, застосування біологічного препарату Міковітал на основі мікоризоутворювальних грибів виявилося ефективним засобом для покращання росту, розвитку та врожайності соняшника, забезпечення стабільності рослин у стресових умовах, а також оптимізації ґрунтового мікробіому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дем'янюк О.С., Матусевич Г.Д., Мазур С.О. та ін. Пшениця, кукурудза та соняшник — основні культури українського експорту. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2023. Вип. 4 (10). С. 41–50. DOI: https://doi.org/10.54651/agri.2023.04.05.
2. Wahab A., Muhammad M., Munir A. et al. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in regulating growth, enhancing productivity, and potentially influencing ecosystems under abiotic and biotic stresses. *Plants (Basel)*. 2023. № 12 (17). P. 3102. DOI: https://doi.org/10.3390/plants12173102.
3. Montanarella L., Pennock D.J., McKenzie N. et al. World's soils are under threat. *Soil*. 2016. № 2. P. 79–82. DOI: https://doi.org/10.5194/soil-2-79-2016.
4. Dewitte O., Jones A., Spaargaren O. et al. Harmonisation of the soil map of Africa at the continental scale. *Geoderma*. 2013. № 211. P. 138–153. DOI: https://doi.org/10.1016/J.Geoderma.2013.07.007.
5. Fall A.F., Nakabonge G., Ssekandi J. et al. Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on soil fertility: contribution in the improvement of physical, chemical, and biological properties of the soil. *Front. Fungal Biol*. 2022. № 3. P. 723892. DOI: https://doi.org/10.3389/ffunb.2022.723892.
6. Dal Cortivo C., Ferrari M., Visioli G. et al. Effects of seed-applied biofertilizers on rhizosphere biodiversity and growth of common wheat (*Triticum aestivum* L.) in the field. *Front. Plant Sci*. 2020. Vol. 11. P. 72. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00072.
7. Anderson R., Keshwani D., Guru A. et al. An integrated modeling framework for crop and biofuel systems using the DSSAT and GREET models. *Environ. Model. Softw*. 2018. № 108. P. 40–50. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.07.004.

8. Оліферчук В.П., Федорович Д.В. Вплив мікоризного гриба *Tuber melanosporum* на біорізноманіття мікроміцетів ризосфери та ріст і продуктивність фундука. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. № 31 (2). С. 28–34. DOI: https://doi.org/10.36930/40310204.
9. Bonfante P. and Desirò A. Arbuscular mycorrhizas: The lives of beneficial fungi and their plant hosts. *Principles of Plant-Microbe Interactions* / Ed. by B. Lugtenberg. Cham: Springer. 2015. P. 235–245. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-08575-3_25.
10. Kaiser C., Kilburn M.R., Clode P.L. et al. Exploring the transfer of recent plant photosynthates to soil microbes: mycorrhizal pathway vs. direct root exudation. *New Phytol*. 2015. № 205. P. 1537–1551. DOI: https://doi.org/10.1111/nph.13138.
11. Luginbuehl L.H., Menard G.N., Kurup S. et al. Fatty acids in arbuscular mycorrhizal fungi are synthesized by the host plant. *Science*. 2017. № 356. P. 1175–1178. DOI: https://doi.org/10.1126/science.aan0081.
12. Keymer A., Pimprikar P., Wewer V. et al. Lipid transfer from plants to arbuscular mycorrhiza fungi. *ELife*. 2017. № 6. P. 29107. DOI: https://doi.org/10.7554/eLife.29107.002.
13. Jamiołkowska A., Ksiezniak A., Gałazka A. et al. Impact of abiotic factors on development of the community of arbuscular mycorrhizal fungi in the soil: a review. *Int. Agrophys*. 2018. № 32. P. 133. DOI: https://doi.org/10.1515/intag-2016-0090.
14. Parihar M., Rakshit A., Meena V.S. et al. The potential of arbuscular mycorrhizal fungi in C cycling: a review. *Arch. Microbiol*. 2020. № 202. P. 581–1596. DOI: https://doi.org/10.1007/s00203-020-01915-x.
15. Wang Z., Li Y., Li T., Zhao D. and Liao Y. Conservation tillage decreases selection pressure on community assembly in the rhizosphere of arbuscular mycorrhizal fungi. *Sci. Tot. Environ*. 2020. № 710. P. 136326. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136326.
16. El-maghraby F.M., Shaker E.M., Elbagory M., Omara A.E.-D and Khalifa T.H. The synergistic impact of arbuscular mycorrhizal fungi and compost tea to enhance bacterial community and improve crop productivity under saline-sodic condition. *Plants*. 2024. № 13. P. 629. DOI: https://doi.org/10.3390/plants13050629.
17. Augé R. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 2001. № 11. P. 3–42. DOI: https://doi.org/10.1007/s005720100097.
18. Sylvia D.M., Fuhrmann J.J., Hartel P.G. and Zuberer D.A. Principles and Applications of Soil Microbiology. Pearson Education, 2005.
19. Parniske M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology*. 2008. № 6 (10). P. 763–775. DOI: https://doi.org/10.1038/nrmicro1987.
20. Smith F.A. and Smith S.E. How useful is the mutualism-parasitism continuum of arbuscular mycorrhizal functioning? *Plant and Soil*. 2011. № 363 (1-2). DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-012-1583-y.
21. Jeffries P., Gianinazzi S., Perotto S., Turnau K. and Barea J.M. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils*. 2003. № 37. P. 1–16. DOI: https://doi.org/10.1007/s00374-002-0546-5.
22. Smith S.E. and Read D.J. Mycorrhizal Symbiosis. *Academic Press*. 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6.
23. Mahdi S., Hassan G., Samoon S. et al. Bio-fertilizers in organic agriculture. *Journal of Phytology*. 2010. № 2. С. 42–54.
24. Андріюк К.І, Іутинська Г.О., Антипчук А.Ф. Функціонування мікробних угруповань в умовах антропогенного навантаження. Київ: Обереги, 2001. 240 с.
25. Войцехівська О.В., Капустян А.В., Косик О.І. та ін. Фізіологія рослин: практикум / за ред. Т.В. Паршикової. Луцьк: Терен, 2010. 420 с.
26. Симочко Л.Ю., Дем'янюк О.С. Мікробіом ґрунту культурних рослин за різних агротехнологій. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 2. С. 87–93. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2018.157862.
27. Demyanyuk O., Symochko L. and Shatsman D. Structure and dynamics of soil microbial communities of natural and transformed ecosystems. *Environmental Research, Engineering and Management (EREM)*. 2020. № 76 (4). P. 97–105. DOI: https://doi.org/10.5755/j01.erem.76.4.23508.

REFERENCES

1. Demianiuk, O.S., Matusevych, H.D., Mazur, S.O. et al. (2023). Pshenytsia, kukurudza ta soniashnyk — osnovni kultury ukrainskoho eksportu [Wheat, corn, and sunflower are the main crops of Ukrainian exports]. *Zemlerobstvo ta roslynnytstvo: teoriia i praktyka — Agriculture and Crop Production: Theory and Practice, 4 (10)*, 41–50. DOI: https://doi.org/10.54651/agri.2023.04.05 [in Ukrainian].
2. Wahab, A., Muhammad, M., Munir, A. et al. (2023). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in regulating growth, enhancing productivity, and potentially influencing ecosystems under abiotic and biotic stresses. *Plants (Basel), 12 (17)*, 3102. DOI: https://doi.org/10.3390/plants12173102 [in English].
3. Montanarella, L., Pennock, D.J., McKenzie, N. et al. (2016). World's soils are under threat. *Soil, 2*, 79–82. DOI: https://doi.org/10.5194/soil-2-79-2016 [in English].
4. Dewitte, O., Jones, A., Spaargaren, O. et al. (2013). Harmonisation of the soil map of Africa at the continental scale. *Geoderma, 211*, 138–153. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.07.007 [in English].
5. Fall, A.F., Nakabonge, G., Ssekandi, J. et al. (2022). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on soil fertility: contribution in the improvement of physical, chemical, and biological properties of the soil. *Front. Fungal Biol, 3*, 723892. DOI: https://doi.org/10.3389/ffunb.2022.723892 [in English].

6. Dal Cortivo, C., Ferrari, M., Visioli, G. et al. (2020). Effects of seed-applied biofertilizers on rhizosphere biodiversity and growth of common wheat (*Triticum aestivum* L.) in the field. *Front. Plant Sci., 11,* 72. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00072 [in English].
7. Anderson, R., Keshwani, D., Guru, A. et al. (2018). An integrated modeling framework for crop and biofuel systems using the DSSAT and GREET models. *Environ. Model. Softw, 108*, 40–50. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.07.004 [in English].
8. Oliferchuk, V.P. & Fedorovych, D.V. (2021). Vplyv mikoryznoho hryba *Tuber melanosporum* na bioriznomanittia mikromitsetiv ryzosfery ta rist i produktyvnist funduka [The Influence of the Mycorrhizal Fungus *Tuber melanosporum* on the Biodiversity of Rhizosphere Micromycetes and the Growth and Productivity of Hazelnut]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine, 31 (2)*, 28–34. DOI: https://doi.org/10.36930/40310204 [in Ukrainian].
9. Bonfante, P., Desirò, A. & Lugtenberg, B. (Ed.). (2015). Arbuscular mycorrhizas: The lives of beneficial fungi and their plant hosts. *Principles of Plant-Microbe Interactions*. (pp. 235–245). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-08575-3_25 [in English].
10. Kaiser, C., Kilburn, M.R., Clode, P.L. et al. (2015). Exploring the transfer of recent plant photosynthates to soil microbes: mycorrhizal pathway vs. direct root exudation. *New Phytol, 205*, 1537–1551. DOI: https://doi.org/10.1111/nph.13138 [in English].
11. Luginbuehl, L.H., Menard, G.N., Kurup, S. et al. (2017). Fatty acids in arbuscular mycorrhizal fungi are synthesized by the host plant. *Science, 356*, 1175–1178. DOI: https://doi.org/10.1126/science.aan0081 [in English].
12. Keymer, A., Pimprikar, P., Wewer, V. et al. (2017). Lipid transfer from plants to arbuscular mycorrhiza fungi. *ELife, 6*, 29107. DOI: https://doi.org/10.7554/eLife.29107.002 [in English].
13. Jamiołkowska, A., Ksiezniak, A., Gałazka, A. et al. (2018). Impact of abiotic factors on development of the community of arbuscular mycorrhizal fungi in the soil: a review. *Int. Agrophys, 32*, 133. DOI: https://doi.org/10.1515/intag-2016-0090 [in English].
14. Parihar, M., Rakshit, A., Meena, V.S. et al. (2020). The potential of arbuscular mycorrhizal fungi in C cycling: a review. *Arch. Microbiol, 202*, 581–1596. DOI: https://doi.org/10.1007/s00203-020-01915-x [in English].
15. Wang, Z., Li, Y., Li, T., Zhao, D. & Liao, Y. (2020). Conservation tillage decreases selection pressure on community assembly in the rhizosphere of arbuscular mycorrhizal fungi. *Sci. Tot. Environ, 710*, 136326. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136326 [in English].
16. El-maghraby, F.M., Shaker, E.M., Elbagory, M., Omara, A.E.-D. & Khalifa, T.H. (2024). The synergistic impact of arbuscular mycorrhizal fungi and compost tea to enhance bacterial community and improve crop productivity under saline-sodic condition. *Plants, 13*, 629. DOI: https://doi.org/10.3390/plants13050629 [in English].
17. Augé, R. (2021). Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza, 11*, 3–42. DOI: https://doi.org/10.1007/s005720100097 [in English].
18. Sylvia, D.M., Fuhrmann, J.J., Hartel, P.G. & Zuberer, D.A. (2005). Principles and Applications of Soil Microbiology. Pearson Education [in English].
19. Parniske, M. (2008). Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology, 6 (10)*, 763–775. DOI: https://doi.org/10.1038/nrmicro1987 [in English].
20. Smith, F.A. & Smith, S.E. (2011). How useful is the mutualism-parasitism continuum of arbuscular mycorrhizal functioning? *Plant and Soil, 363 (1-2)*. DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-012-1583-y [in English].
21. Jeffries, P., Gianinazzi, S., Perotto, S., Turnau, K. & Barea, J.M. (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils, 37*, 1–16. DOI: https://doi.org/10.1007/s00374-002-0546-5 [in English].
22. Smith, S.E. & Read, D.J. (2008). Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6 [in English].
23. Mahdi, S., Hassan, G., Samoon, S. et al. (2010). Biofertilizers in organic agriculture. *Journal of Phytology, 2*, 42–54 [in English].
24. Andriiuk, K.I, Iutynska, H.O. & Antypchuk, A.F. (2001). *Funktsionuvannia mikrobnykh uhrupovan v umovakh antropohennoho navantazhennia [Functioning of Microbial Communities under Anthropogenic Load]*. Kyiv [in Ukrainian].
25. Voitsekhivska, O.V., Kapustian, A.V., Kosyk, O.I. & Parshykova, T.V. (Ed.). *Fiziolohiia roslyn [Plant Physiology]*. Lutsk: Teren [in Ukrainian].
26. Symochko, L.Yu. & Demianiuk, O.S. (2018). Mikrobiom gruntu kulturnykh roslyn za riznykh ahrotekhnolohii [Soil Microbiome of Cultivated Plants under Different Agrotechnologies]. *Ahroekolohichnyi zhurnal – Agroecological Journal, 2*, 87–93. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2018.157862 [in Ukrainian].
27. Demyanyuk, O., Symochko, L. & Shatsman, D. (2020). Structure and dynamics of soil microbial communities of natural and transformed ecosystems. *Environmental Research, Engineering and Management (EREM), 76 (4)*, 97–105. DOI: https://doi.org/10.5755/j01.erem.76.4.23508 [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 24.06.2024

УДК 631.452:631.147:633.34 DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311190

ВПЛИВ БІОПРЕПАРАТІВ ҐРАУНДФІКС ТА ЕКОСТЕРН НА МІКРОБІОТУ ҐРУНТУ ЗА ВИРОЩУВАННЯ СОЇ (*GLYCINE MAX* L.)

В.В. Болоховський[1], В.В. Бородай[2,3], Н.А. Косовська[1,2], В.А. Болоховська[1], О.В. Нагорна[1], Д.О. Яковенко[1,3], В.І. Кузьмич[1]

[1]ТОВ «ТД BTU» (м. Київ, Україна)
e-mail: vlad@btu-center.com; ORCID: 0009-0007-0074-6362
e-mail: kosovska.na@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8881-847X
e-mail: va@btu-center.com; ORCID: 0009-0005-2728-4589
e-mail: olganova2008@ukr.net; ORCID: 0009-0001-6628-9383
e-mail: kuzmich.v@btu-center.com; ORCID: 0009-0007-1894-5634

[2]Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: veraboro@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8787-8646

[3]Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, Україна)
e-mail: d.yakovenko@btu-center.com; ORCID: 0009-0008-8239-7684

Висвітлено ефективність біопрепаратів Ґраундфікс та Екостерн Класичний у формуванні еколого-трофічних груп мікроорганізмів ризосфери ґрунту за вирощування рослин сої сорту Кент. Для визначення ґрунтових мікроорганізмів та їхніх асоціацій використовували ДСТУ 7847:2015. Коефіцієнти мінералізації, оліготрофності та педотрофності ґрунту розраховували за співвідношення відповідних еколого-трофічних груп. Встановлено, що за дії біопрепаратів Екостерн Класичний та Ґраундфікс у ризосфері рослин сої збільшується кількість амоніфікаторів в 1,8–2,1 раза, олігонітрофільних бактерій (до яких належать бактерії роду Azotobacter) — на 14,3–33,3%, оліготрофів — на 54–57% порівняно із контрольним варіантом. Чисельність педотрофів, за вирощування рослин сої із додаванням біопрепарату Екостерн Класичний дорівнювала $1{,}6 \cdot 10^5$ КУО/г ґрунту, що у 1,5 раза нижче порівняно із контролем. Найвищі значення педотрофів були визначені для ґрунту у варіанті з соєю сорту Кент, вирощеною за впливу біопрепарату Ґраундфікс, що на 4% вище порівняно із контролем. За дії біопрепаратів Екостерн Класичний та Ґраундфікс чисельність мікроорганізмів, які використовують мінеральні форми азоту, знижувалась у 2,3–8 разів відповідно, порівняно із контролем. Згідно із значеннями коефіцієнтів оліготрофності, мінералізації й іммобілізації азоту та педотрофності визначено спрямованість біологічних процесів ґрунту. Коефіцієнт оліготрофності у досліджуваних зразках ґрунту за впливу біопрепаратів становив 0,28–0,35, що свідчить про високу забезпеченість ґрунтового мікробіому поживними речовинами. Ґрунт за впливу досліджених біопрепаратів характеризується достатньою кількістю доступного азоту, високою забезпеченістю ґрунтового мікробіому поживними речовинами, накопиченням стійких органічних сполук і стабільним формуванням гумусу. Застосування біопрепаратів Ґраундфікс та Екостерн Класичний сприяє покращанню мікробного біорізноманіття та активності мікробіоти ґрунту під час культивування сої, підвищує кількість специфічних мікробних таксонів, які, беруть участь у пригніченні фітопатогенних мікроорганізмів у ґрунті, позитивно впливає на кругообіг поживних речовин і формування структури ґрунту.

Ключові слова: *мікробні препарати, еколого-трофічні групи бактерій, мікробіологічна активність ґрунту.*

ВСТУП

Останніми роками, як ефективний інструмент в агровиробництві, дедалі значного поширення набуває система землеробства з використанням елементів біологізації. За допомогою внесення у ґрунт агрономічно корисної мікробіоти, живі клітини якої входять до складу біологіч-

© В.В. Болоховський, В.В. Бородай, Н.А. Косовська, В.А. Болоховська, О.В. Нагорна, Д.О. Яковенко, В.І. Кузьмич, 2024

них препаратів (зокрема, біодеструкторів і біодобрив), запускаються багато цінних процесів: відновлювані зміни в екосистемі ґрунту за рахунок розширення мікробного ценозу, посилення його фітосанітарного стану, захист майбутньої культури рослин сівозміни від алелопатичного впливу попередників, збільшення доступності елементів живлення в ґрунті і покращання його структури, а також підвищення врожайності та поліпшення якості сільськогосподарських культур.

Упродовж останнього десятиліття Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (ФАО) дедалі частіше спрямовує увагу на органічне виробництво з метою зменшення використання пестицидів і збільшення органічних площ. До того ж у господарствах застосовують елементи екологічних технологій, які передбачають використання біопрепаратів для пригнічення росту патогенних грибів або бактерій, стимулювання росту рослин та отримання якісної продукції. Своєю чергою, споживачі обирають продукти з високою харчовою та функціональною цінністю. Біопрепарати мають багатогранну дію, але вчені дедалі більше наголошують на їх позитивному впливі на рослини та ґрунт. Застосування біопрепаратів дає змогу знизити собівартість продукції рослинництва та підвищити ефективність використання поживних речовин ґрунту [1–5].

Біопрепарати, що застосовуються в органічному виробництві, за впливу різних едафічних і кліматичних чинників спрямовані на посилення біологічного захисту рослин шляхом зменшення поширення фітопатогенів і шкідників, підвищення врожайності, поліпшення мікробіоти ґрунту, зміни фізико-хімічних властивостей ґрунту та зниження забруднення навколишнього середовища [6].

Метою досліджень було з'ясування впливу біопрепаратів, створених на основі бактерій родів: *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Enterococcus*, *Agrobacterium* та грибів роду *Trichoderma* на важливі еколого-трофічні групи ґрунтових мікроорганізмів за вирощування рослин сої.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Мікробіологічні препарати, як вказує Hartmann M. et al. (2017) [7], є важливим чинником регуляції чисельності та біорізноманіття ґрунтових мікроорганізмів в агрофітоценозах. Внесення біопрепаратів, згідно з дослідженнями Oliveira E. et al. (2024) [8], призводить до підвищення таксономічного та філогенетичного різноманіття ґрунту порівняно зі звичайною системою землеробства, збільшує кількість специфічних мікробних таксонів, які, беруть участь у пригніченні фітопатогенних мікроорганізмів у ґрунті, позитивно впливає на кругообіг поживних речовин і формування структури ґрунту.

За результатами досліджень Korobko A. et al. (2024) [9] визначено, що застосування біопрепаратів Органік-Баланс, Азотофіт, Хелпрост та Липосам в умовах Правобережного Лісостепу на сірих лісових середньосуглинкових ґрунтах сприяє удосконаленню економічної та екологічно безпечної технології вирощування сої, зниженню впливу стресових чинників на рослини, здатності фіксувати до 100–150 кг атмосферного азоту, що є еквівалентно внесенню 15–20 т органічних добрив.

Gałązka A. et al. (2018) [10] визначили, що за участі біопрепаратів відбуваються активізація арбускулярно-мікоризних (АМ) грибів, збільшення вмісту гломаліну (глікопротеїну), що продукуються ними в ґрунті, порівняно з ґрунтами традиційних та інтегрованих систем, а також монокультур пшениці озимої, що свідчить про більш високу активність АМ грибів у цих ґрунтах.

Panfilova A. (2021) [11] встановила, що обробка біодеструкторами призводить до підвищення мікробіологічної активності ґрунту, а саме до збільшення загальної кількості бактерій у ґрунті на 63,0–66,4%, залежно від досліджуваного шару.

В агроценозі сої за дії біопрепаратів МікоХелп та ФітоХелп, за дослідженнями Бородай В.В. та ін. (2022) [12], змінюються основні еколого-трофічні групи мікробіому ґрунту, підвищується його мікро-

біологічна активність; значно активізується розвиток мікроорганізмів, які використовують переважно органічні сполуки азоту (в системі соя — біопрепарат МікоХелп цей показник збільшився в 3,3 раза, а соя — біопрепарат ФітоХелп — у 5,3–18,8 раза порівняно з еталонним та контрольними варіантами, відповідно).

Маловивченими питаннями в Україні є вплив біодобрив та біодеструкторів вітчизняних виробників на мікробіоту рослин (*Glycine max* L.).

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження здійснювали за лабораторного та вегетаційного методів досліджень в умовах ТОВ «Інститут прикладної біотехнології». Насіння сої сорту Кент (селекції компанії SAATBAULINZ, Австрія) обробляли біопрепаратами виробництва ПП «БТУ-Центр»: біодобриво Граундфікс® (*Bacillus subtilis*, *B. megaterium* var.*phosphaticum*, *Azotobacter chroococcum*, *Enterobacter* sp., титр клітин $0{,}5–1{,}5\times10^9$ КУО/см^3), біодеструктор Екостерн® Класичний (*Bacillus*, *Paenibacillus*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Enterococcus*, *Agrobacterium* та гриби роду Trichoderma — титр клітин не менш ніж $2{,}5–5{,}0\times10^9$ КУО/см^3) згідно з рекомендованими дозами використання. Висівали по 10 насінин у кожен горщик ємністю 200 мл, наповнений субстратом (торф верховий, вапняне борошно, перліт, річковий пісок; макроелементи: азот (N) — 80–140 мг/л, фосфор (P_2O_5) — 100–150, калій (K_2O) — 140–180 мг/л; мікроелементи). Дослідження здійснювали у 3-му повторенні у клімокамері за освітлення 2000 лк та температури 24–27°С. Контролем слугувало насіння, оброблено стерильною дистильованою водою [13].

Для визначення ґрунтових мікроорганізмів та їхніх асоціацій використовували методи, що прописані у Державному стандарті 7847:2015 [17]. Згідно з методом, ґрунт із ризосфери рослин відбирали у фазі сходів рослин (V1 — перший трійчастий листок). Для вирощування мікроорганізмів застосовували селективні середовища: МПА (м'ясо-пептонний агар) — для визначення мікроорганізмів, які використовують переважно органічні сполуки азоту та спороутворювальних бактерій; Ешбі — для вирощування олігонітрофілів; голодний агар — для визначення оліготрофів; крохмально-аміачний агар (КАА) — для виявлення мікроорганізмів, які використовують мінеральні сполуки азоту; ґрунтовий агар (ГА) — для вирощування педотрофів [14]. Якісний та кількісний склад мікробіому ґрунту перевіряли у титрах: $1{:}10^{-4}$–$1{:}10^{-5}$. Паралельно визначали вологість ґрунту. Чисельність мікроорганізмів у 1 г вологого ґрунту обчислювали за формулами:

$$N_c = \frac{a\times10^n}{m\times(1-\omega)}, \qquad (1)$$

де N_c — к-сть колонієутворювальних одиниць, фактична одиниця виміру кількості мікроорганізмів у 1 г сирого ґрунту; a — середня кількість КУО, 10^n — коефіцієнт розведення та порядковий номер розведення (n); m — маса ґрунту у першому розведенні; ω — масова частка вологи у досліджуваній пробі у %;

$$\omega = \frac{m_1\cdot100}{m_2}, \qquad (2)$$

де m_1 — маса вологи; m_2 — маса наважки ґрунту.

Коефіцієнти мінералізації, оліготрофності та педотрофності ґрунту розраховували за співвідношення відповідних еколого-трофічних груп. Так, коефіцієнт мінералізації визначали за формулою (КАА/МПА) = чисельність мікроорганізмів, які використовують мінеральні сполуки азоту / чисельність мікроорганізмів, які застосовують переважно органічні сполуки азоту. Коефіцієнт оліготрофності (ГА/МПА) = чисельність оліготрофів / чисельність мікроорганізмів, які використовують переважно органічні сполуки азоту. Коефіцієнт педотрофності (ГрА/МПА) = = чисельність педотрофів / чисельність мікроорганізмів, які застосовують переважно органічні сполуки азоту [15].

Статистичну обробку даних проводили за допомогою пакета програм Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На основі ретроспективного аналізу наукових публікацій доведено, що біопрепарати забезпечують регуляцію чисельності різних корисних груп мікроорганізмів в агроценозах для покращання родючості ґрунту, росту рослин і стійкості їх до стресів [16].

Цикл перетворень азотовмісних сполук у ґрунті нерозривно пов'язаний із розвитком і біохімічною діяльністю амоніфікувальних мікроорганізмів. Амоніфікатори розкладають азотовмісні сполуки на простіші, які проникають у клітини мікроорганізмів і дезамінуються під дією внутрішньоклітинних ферментів. Амоніфікації піддаються білкові речовини, що містяться в ґрунті. Процес амоніфікації неспецифічний, його можуть здійснювати групи мікроорганізмів, що належать до різних таксономічних груп: бактерії з родів *Bacillus* та *Pseudomonas*; гриби родів *Penicillium*, *Trichoderma* і *Aspergillus*. Встановлено, що на чисельність амоніфікувальних мікроорганізмів значний вплив мають режими аерації, зволоження, температури, внесення мінеральних і органічних добрив [17].

Встановлено, що біопрепарати Екостерн та Граундфікс у 1,8–2,1 раза підвищують кількість амоніфікаторів у ризосфері рослин порівняно із контрольним варіантом ($4{,}0\times10^5$ та $4{,}6\times10^5$ КУО/г проти $2{,}2\times10^5$ КУО/г ґрунту відповідно) (*рис. 1*).

Олігонітрофільні мікроорганізми мінералізують безазотисту органічну речовину ґрунту. Моніторинг чисельності та активності вищезазначених бактерій, зокрема їх головного представника *Azotobacter* у ґрунті дає змогу оцінити його біологічний потенціал, доступність поживних речовин для рослин, а також наявність токсикантів, що можуть негативно впливати на ріст і розвиток рослинних культур.

Встановлено, що за вирощування рослин сої сорту Кент із додаванням біодеструктора Екостерн чисельність олігонітрофільних бактерій підвищувалась на 33,3%, Граундфіксу — на 14,3% порівняно із контролем ($0{,}9\times10^5$ КУО/г та $0{,}7\times10^5$ КУО/г проти $0{,}6\times10^5$ КУО/г ґрунту відповідно) (див. *рис. 1*).

За вирощування рослин сої у присутності біопрепаратів Екостерн та Граундфікс спостерігали найвищу чисельність оліготрофів (відповідно $1{,}4\times10^5$ КУО/г

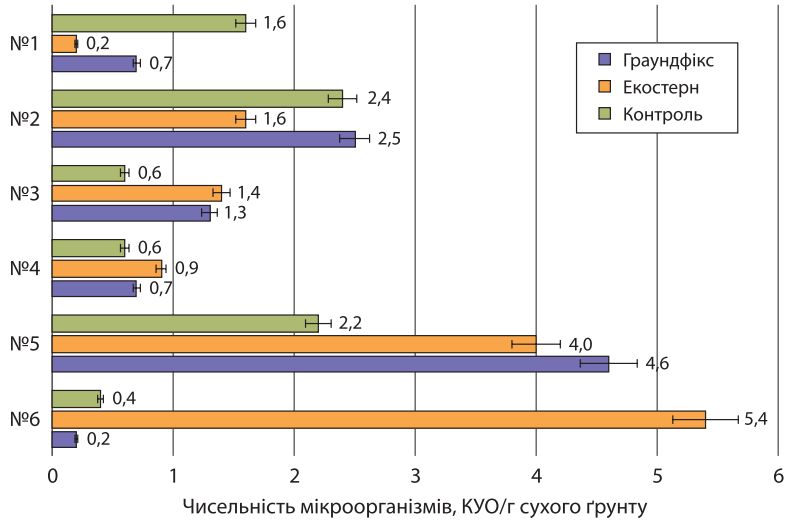


Рис. 1. Чисельність основних фізіологічних груп мікроорганізмів у мікробіомі ґрунту, за впливу біологічних препаратів та рослин сої сорту Кент

Примітки: 1 — мікроорганізми, які використовують переважно мінеральні сполуки азоту; *2* — педотрофи; *3* — оліготрофи; *4* — олігонітрофіли; *5* — амоніфікатори; *6* — спорові форми бактерій.

та $1,3\times10^5$ КУО/г ґрунту), яка виявилась на 57% і 54% вищою, ніж у контрольному зразку ($0,6\times10^5$ КУО/г ґрунту).

Педотрофи відіграють важливу роль у мінералізації органічного вуглецю, який міститься в гумусі, що сприяє вивільненню доступних форм азоту, фосфору, сірки та інших елементів для рослин поживних речовин. Окрім того, беруть участь у формуванні структури ґрунту через вплив на агрегацію ґрунтових частинок [18]. Чисельність педотрофів, за вирощування рослин *Glycine max* L. із додаванням біопрепарату Екостерн дорівнювала $1,6\times10^5$ КУО/г ґрунту, що у 1,5 раза нижче порівняно із контролем ($2,4\times10^5$ КУО/г ґрунту). Варто зазначити, що найвищі значення педотрофів були виявлені за впливу біопрепарату Граундфікс ($2,5\times10^5$ КУО/г ґрунту), що на 4% вище порівняно із контролем.

Чисельність мікроорганізмів, які використовують мінеральні форми азоту, була найвищою у контролі ($1,6\times10^5$ КУО/г ґрунту). У дослідних варіантах у присутності біопрепаратів Екостерн ($0,2\times10^5$ КУО/г ґрунту) та Граундфікс ($0,7\times10^5$ КУО/г ґрунту) чисельність вище зафіксованої групи була нижче у 8 і 2,3 раза відповідно, порівняно із контролем. Відомо, що зазначена еколого-трофічна група мікроорганізмів бере участь у регуляції доступності азоту для рослин через процеси нітрифікації/денітрифікації та іммобілізації/мінералізації через синтез ферментів, які каталізують різні реакції перетворення сполук азоту [19].

Встановлено, що кількість спороутворювальних бактерій, які беруть участь у трансформації органічної речовини, за вирощування рослин сої сорту Кент із додаванням біопрепарату Екостерн ($5,4\times10^5$ КУО/г ґрунту), підвищується в 13,5 раза порівняно із контролем ($0,4\times10^5$ КУО/г ґрунту). В той самий час за вирощування рослин сої із внесенням біопрепарату Граундфікс ($0,2\times10^5$ КУО/г ґрунту) вона зменшується в 2 рази порівняно із контролем (див. *рис. 1*). Зниження чисельності спорових форм у ґрунті означає, що більшість мікроорганізмів активно беруть участь у різноманітних ґрунтових процесах, як-от розклад органічних речовин, перетворення поживних елементів та взаємодія з рослинами.

Для характеристики мікробіологічних процесів трансформації органічних речовин та кругообігу поживних елементів у ґрунтах, а також для оцінки родючості, розраховували коефіцієнти мінералізації, оліготрофності та педотрофності (*рис. 2*).

За результатами досліджень, під час вирощування рослин сої сорту Кент із біопрепаратом Граундфікс (0,15) та Екостерн (0,05) коефіцієнт мінералізації та іммобілізації азоту знижувався на 42% і 80%, порівняно із контролем (0,26) (див. *рис. 2*). Цей

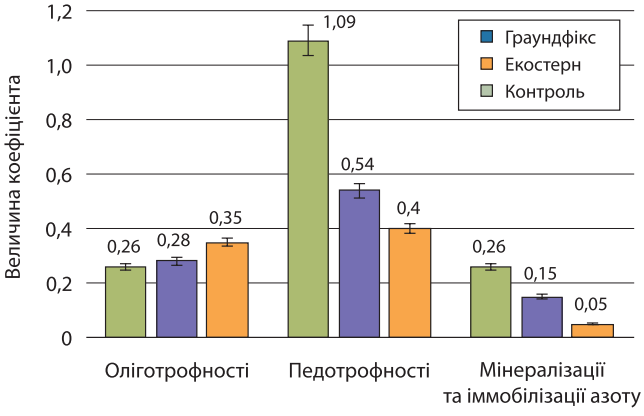


Рис. 2. Спрямованість мікробіологічних процесів у ризосфері сої сорту Кент

коефіцієнт відображає частку мінерального азоту, що засвоюється мікроорганізмами та переходить в органічну форму біомаси. Зниження значення коефіцієнта мінералізації та іммобілізації азоту характеризує надходження достатньої кількості доступного азоту для рослин [20].

Коефіцієнт оліготрофності у досліджуваних зразках ґрунту за впливу біопрепаратів був низьким (0,28–0,35) (див. *рис. 2*), що засвідчує високу забезпеченість ґрунтового мікробіому поживними речовинами.

Варіанти ґрунту, за вирощування рослин сої у присутності біопрепаратів мали нижчий коефіцієнт педотрофності. Так, за вирощування рослин *Glycine max* L. під впливом біопрепарату Граундфікс (0,54) значення коефіцієнта педотрофності було удвічі нижче порівняно із контролем (1,09), у той самий час як за впливу Екостерну (0,4) у 2,7 раза нижче проти контролю (див. *рис. 2*). Це свідчить про накопичення стійких органічних сполук і формування гумусу.

Аналогічні дані щодо позитивного впливу елементів біологічних технологій отримано за дослідження таксономічної структури бактеріального комплексу ризосфери сої за різних умов антропогенного навантаження. В умовах мінімального антропогенного навантаження за застосування біологічної та екологічної систем землеудобрення збільшується різноманіття мікробіоти ризосфери з підвищенням частки ризобактерій із рістстимулювальними (*Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Verrucomicrobia*) властивостями та здатністю посилювати стресостійкість рослин (*Proteobacteria*) [21].

Отже, досліджувані препарати мали позитивний вплив на ґрунтову мікробіоту. Підвищення мікробіологічної активності ґрунту зумовлює посилення елементів продуктивності рослин сої. Так, за проведення польових досліджень в умовах Хмельницької ДСГДС ІКСГП НААН за використання Екостерну® Класичного спостерігали підвищення ступеня деструкції після жнивних залишків попередників від 39% до 61%, до збільшення активного симбіотичного потенціалу сої від 269,7 до 367,5–450,0 кг/га, висоти рослин, площі листкової поверхні в фазі бутонізації, урожайності сої сорту Сіверка — від 2,71 у контролі до 3,01–3,13 т/га [22].

Дослідженнями впродовж 2017–2021 рр. в умовах НДГ «Агрономічне» ВНАУ встановлено, що найвищий рівень урожайності рослин сої (2,97 т/га за рівня рентабельності 117,4%) забезпечує внесення NPK (100%) + Граундфікс (5 л/т) + передпосівна обробка насіння Мікофрендом. Водночас зменшення норми мінеральних добрив (NPK (70%) + Граундфікс (5 л/га) + передпосівна обробка насіння біопрепаратом Мікофренд) виявилась економічно найпродуктивнішим, при цьому рівень рентабельності становив 125,0% (за врожайності 2,59 т/га) [23].

ВИСНОВКИ

Встановлено, що біодеструктор Екостерн® Класичний та біодобриво Граундфікс® за взаємодії із рослинами сої (*Glycine max* L.) змінюють чисельність основних еколого-трофічних груп мікроорганізмів у мікробіомі ґрунту.

За дії біопрепаратів Екостерн та Граундфікс чисельність важливих еколого-трофічних груп (амоніфікаторів, олігонітрофілів, педотрофів та оліготрофів) досліджуваних зразків ґрунту зростає. За значеннями коефіцієнтів оліготрофності, мінералізації та іммобілізації азоту, а також педотрофності, за впливу досліджених біопрепаратів ґрунт характеризується достатньою кількістю доступного азоту, високою забезпеченістю ґрунтового мікробіому поживними речовинами, накопиченням стійких органічних сполук і стабільним формуванням гумусу.

ЛІТЕРАТУРА

1. European Commission: European Green Deal. 2020. URL: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal.

2. Trevisan S., Manoli A. and Quaggiotti S. A Novel Biostimulant, Belonging to Protein Hydrolysates, Mitigates Abiotic Stress Effects on Maize Seedlings

Grown in Hydroponics. *Agronomy*. 2019. Vol. 9 (28). P. 204–217. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy9010028.
3. Caruso G., De Pascale S., Cozzolino E. et al. Protein Hydrolysate or Plant Extract-based Biostimulants Enhanced Yield and Quality performances of Greenhouse Perennial Wall Rocket Grown in Different Seasons. *Plants*. 2019. Vol. 8. P. 208–216. DOI: https://doi.org/10.3390/plants8070208.
4. Tarantino A., Lops F., Disciglio G. and Lopriore G. Efects of Plant Biostimulants on Fruit Set, Growth, Yield and Fruit Quality Attributes of «Orange Rubis» Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Cultivar in Two Consecutive Years. *Sci. Hortic*. 2018. Vol. 239. P. 26–34. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.055.
5. Ertani A., Francioso O., Tinti A. et al. Evaluation of seaweed extracts from *Laminaria* and *Ascophyllum nodosum* spp. as biostimulants in *Zea mays* L. using a combination of chemical, biochemical and morphological approaches. *Front. Plant Sci*. 2018. Vol. 9. P. 428. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00428.
6. Naujokienė V., Šarauskis E., Lekavičienė K. et al. The influence of biopreparations on the reduction of energy consumption and CO_2 emissions in shallow and deep soil tillage. *Sci. Total Environ*. 2018. Vol. 626. P. 1402–1413. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.190.
7. Hartmann M., Frey B., Mayer J., Meader P. and Widmer F. Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *The ISME Journal*. 2017. Vol. 9 (5). P. 1177–1194.
8. Oliveira E., Wittwer R., Hartmann M. et al. Effects of conventional, organic and conservation agriculture on soil physical properties, root growth and microbial habitats in a long-term field experiment. *Geoderma*. 2024. Vol. 447. P. 116927. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116927.
9. Korobko A., Kravets R., Mazur O., Mazur O. and Shevchenko N. Nitrogen-Fixing Capacity of Soybean Varieties Depending on Seed Inoculation and Foliar Fertilization with Biopreparations. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25 (4). P. 23–37.
10. Gałązka A., Gawryjołek K., Gajda K. et al. Assessment of glomalins content in the soil under winter wheat from different crop production systems. *Plant Soil and Environment*. 2018. Vol. 64 (1). P. 32–37. DOI: https://doi.org/10.17221/726/2017-PSE.
11. Panfilova A. Influence of stubble biodestructor on soil microbiological activity and grain yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Notulae Scientia Biologicae*. 2021. Vol. 13 (4). P. 11035. DOI: https://doi.org/10.15835/nsb13411035.
12. Бородай В.В., Косовська Н.А., Парфенюк А.І., Тертична О.В. Вплив біопрепаратів ФітоХелп і МікоХелп на мікробіоту ґрунту за вирощування сої (*Glycine max* (L.) Merr.). *Агроекологічний журнал*. 2022. № 1. С. 99–109. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.255183.
13. Дідора В.Г., Смаглій О.Ф., Ермантраут Е.Р. та ін. Методика наукових досліджень в агрономії. Київ: Центр учбової літератури. 2013. 264 с.
14. ДСТУ ISO 7847:2015. Якість ґрунту. Визначення чисельності мікроорганізмів у ґрунті методом посіву на тверде (агаризоване) живильне середовище. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2016. 181 с.
15. Волкогон В.В., Надкернична О.В., Токмакова Л.М. та ін. Експериментальна ґрунтова мікробіологія / за ред. В.В. Волкогона. Київ: Аграрна наука, 2010. 464 с.
16. Singh J.S., Abhilash P.C., Yadav A.N. et al. Biofertilizers and biopesticides: Eco-friendly sources for sustainable agriculture and food security. *Soil Biology and Biochemistry*. 2022. Vol. 171. P. 108698. DOI: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108698.
17. Makhkamova D., Gafurova L., Nabieva G. et al. Integral indicators of the ecological and biological state of soils in Jizzakh steppe. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2022. P. 1068, 012019.
18. Fierer N. Embracing the unknown: disentangling the unexplored and highly diverse world of soil microorganisms. *Nature Reviews Microbiology*. 2017. Vol. 15 (10). P. 579–590.
19. Richardson D.J. The bacterial respiratory nitric oxide reductase. *Biochem. Soc. Trans*. 2009. Vol. 37 (2). P. 392–399.
20. Klik A. The mineralization and immobilization of nitrogen in soil. *ACTA Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2008. Vol. 56 (5). P. 35–44.
21. Гудзь С.О. Аспекти екологізації землеробства та стан мікробних угрупувань ґрунту, як активного компоненту агробіогеоценозів. *Таврійський науковий вісник*. 2019. Вип. 108. С. 198–204.
22. Болоховський В., Болоховська В., Хоменко Т. та ін. Ефективність біодеструкторів у технології вирощування сої в умовах Правобережного Лісостепу України. *Техніка і технології АПК*. 2023. № 2. С. 8–12.
23. Дідур І.М. Економічна оцінка моделей технології вирощування сої за біологізованої системи живлення. *Сільське господарство та лісівництво*. 2023. № 29. С. 214–221.

REFERENCES

1. European Commission: European Green Deal. (2020). URL: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal [in English].
2. Trevisan, S., Manoli, A. & Quaggiotti, S. (2019). A Novel Biostimulant, Belonging to Protein Hydrolysates, Mitigates Abiotic Stress Effects on Maize Seedlings Grown in Hydroponics. *Agronomy, 9 (28)*, 204–217. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy 9010028 [in English].
3. Caruso, G., De Pascale, S., Cozzolino, E. et al. (2019). Protein Hydrolysate or Plant Extract-based Biostimulants Enhanced Yield and Quality performances of Greenhouse Perennial Wall Rocket Grown in Dif-

ferent Seasons. *Plants, 8*, 208–216. DOI: https://doi.org/10.3390/plants8070208 [in English].
4. Tarantino, A., Lops, F., Disciglio, G. & Lopriore, G. (2018). Efects of Plant Biostimulants on Fruit Set, Growth, Yield and Fruit Quality Attributes of «Orange Rubis» Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Cultivar in Two Consecutive Years. *Sci. Hortic, 239*, 26–34. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.055 [in English].
5. Ertani, A., Francioso, O., Tinti, A. et al. (2018). Evaluation of seaweed extracts from *Laminaria* and *Ascophyllum nodosum* spp. as biostimulants in *Zea mays* L. using a combination of chemical, biochemical and morphological approaches. *Front. Plant Sci, 9*, 428. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00428 [in English].
6. Naujokienė, V., Šarauskis, E., Lekavičienė, K. et al. (2018). The influence of biopreparations on the reduction of energy consumption and CO_2 emissions in shallow and deep soil tillage. *Sci. Total Environ, 626*, 1402–1413. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.190 [in English].
7. Hartmann, M., Frey, B., Mayer, J., Meader, P. & Widmer, F. (2017). Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *The ISME Journal, 9 (5)*, 1177–1194 [in English].
8. Oliveira, E., Wittwer, R., Hartmann, M. et al. (2024). Effects of conventional, organic and conservation agriculture on soil physical properties, root growth and microbial habitats in a long-term field experiment. *Geoderma, 447*, 116927. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116927 [in English].
9. Korobko, A., Kravets, R., Mazur, O., Mazur, O. & Shevchenko, N. (2024). Nitrogen-Fixing Capacity of Soybean Varieties Depending on Seed Inoculation and Foliar Fertilization with Biopreparations. *Journal of Ecological Engineering, 25 (4)*, 23–37 [in English].
10. Gałązka, A., Gawryjołek, K., Gajda, K. et al. (2018). Assessment of glomalins content in the soil under winter wheat from different crop production systems. *Plant Soil and Environment, 64 (1)*, 32–37. DOI: https://doi.org/10.17221/726/2017-PSE [in English].
11. Panfilova, A. (2021). Influence of stubble biodestructor on soil microbiological activity and grain yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Notulae Scientia Biologicae, 13 (4)*, 11035. DOI: https://doi.org/10.15835/nsb13411035 [in English].
12. Boroday, V.V., Kosovska, N.A., Parfenyuk, A.I. & Tertychna, O.V. (2022). Vplyv biopreparativ Fitokhelp i Mikokhelp na mikrobiotu gruntu za vyroshchuvannya soyi (*Glycine max* (L.) Merr.) [The effect of Phytohelp and Mycohelp biological preparations on the soil microbiota during the cultivation of soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.)]. *Ahroekolohichnyy zhurnal — Agroecological journal, 1*, 99–109. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.255183 [in Ukrainian].
13. Didora, V.H., Smahlii, O.F., Ermantraut, E.R. et al. (2013). *Metodyka naukovykh doslidzhen v ahronomii [Methods of scientific research in agronomy]*. Kyiv [in Ukrainian].
14. Yakist gruntu. Vyznachennia chyselnosti mikroorhanizmiv u grunti metodom posivu na tverde (aharyzovane) zhyvylne seredovyshche [Soil quality. Determination of the number of microorganisms in the soil by the method of sowing on solid (agar) living environment]. (2016). *DSTU ISO 7847:2015 from 1st July 2016*. Kyiv [in Ukrainian].
15. Volkohon, V.V. (Ed.), Nadkernychna, O.V., Tokmakova, L.M. et al. (2010). *Eksperymentalna gruntova mikrobiolohiia [Experimental soil microbiology]*. Kyiv [in Ukrainian].
16. Singh, J.S., Abhilash, P.C., Yadav, A.N. et al. (2022). Biofertilizers and biopesticides: Eco-friendly sources for sustainable agriculture and food security. *Soil Biology and Biochemistry, 171*, 108698. DOI: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108698 [in English].
17. Makhkamova, D., Gafurova, L., Nabieva, G. et al. (2022). Integral indicators of the ecological and biological state of soils in Jizzakh steppe. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1068, 012019 [in English].
18. Fierer, N. (2017). Embracing the unknown: disentangling the unexplored and highly diverse world of soil microorganisms. *Nature Reviews Microbiology, 15 (10)*, 579–590 [in English].
19. Richardson, D.J. (2009). The bacterial respiratory nitric oxide reductase. *Biochem. Soc. Trans, 37 (2)*, 392–399 [in English].
20. Klik, A. (2008). The mineralization and immobilization of nitrogen in soil. *ACTA Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 56 (5)*, 35–44 [in English].
21. Hudz, S. (2019). Aspekty ekolohizatsiyi zemlerobstva ta stan mikrobnykh uhrupuvan' gruntu, yak aktyvnoho komponentu ahrobioheotsenoziv [Aspects of ecologisation of agriculture and the state of soil microbial communities as an active component of agrobiogeocenoses]. *Tavriys'kyy naukovyy visnyk — Tavrian Scientific Bulletin, 108*, 198–204 [in Ukrainian].
22. Bolokhovsky, V., Bolokhovska, V., Khomenko, T. et al. (2023). Efektyvnist' biodestruktoriv u tekhnolohiyi vyroshchuvannya soyi v umovakh Pravoberezhnoho lisostepu Ukrayiny [Efficiency of biodestructors in the technology of soybean cultivation in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Tekhnika i tekhnolohiyi APK — Techniques and technologies of the agro-industrial complex, 2*, 8–12 [in Ukrainian].
23. Didur, I.M. (2023). Ekonomichna otsinka modeley tekhnolohiyi vyroshchuvannya soyi za biolohizovanoyi systemy zhyvlennya [Economic evaluation of models of soybean cultivation technology under biological nutrition system]. *Sil's'ke hospodarstvo ta lisivnytstvo — Agriculture and forestry, 29*, 214–221 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 17.05.2024

УДК 638.8:633.11 DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311192

ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ РЕНТАБЕЛЬНОСТІ ЗА РІЗНИХ ВАРІАНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ (*GLYCINE MAX* L.)

Н.Г. Буслаєва, А.В. Голодна, Я.В. Грицюк

ННЦ «ІЗ НААН»
(с-ще Чабани, Фастівський р-н, Київська обл., Україна)
e-mail: nataliyabuslaeva@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4956-7801
e-mail: ant.golodna@gmail.com; ORCID: 0000-0002-7775-8229
e-mail: hrytsiuk.yaroslav@gmail.com; ORCID: 0009-0007-9301-6990

Мета досліджень — побудова адекватних моделей прогнозування рентабельності вирощування насіння сої (Glycine max L.) за різних варіантів технології вирощування; визначення істотних чинників впливу на фінансові показники з метою прийняття ефективних управлінських рішень. Використання інструментарію регресійного аналізу дало змогу побудувати ступеневі моделі залежності рентабельності від економічних показників із високими коефіцієнтами детермінації. У середньому за роки досліджень найефективнішим був варіант технології вирощування сої, який передбачав внесення мінеральних добрив у дозі $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ (у фазі бутонізації) кг/га д.р., передпосівне оброблення насіння мікоризоутворювачем Мікофренд і протруйником Вайбранс та позакореневе підживлення органо-мінеральним добривом у фазі бутонізації, що сприяло отриманню максимальної врожайності насіння культури в досліді 3,74 т/га. За результатами проведеного кореляційно-регресійного аналізу було встановлено, що найбільший вплив на рентабельність за вирощування сої має повна собівартість урожаю та собівартість насіння культури. Це підтверджують коефіцієнти детермінації, які свідчать, що 98,2–99,8% всієї варіації рентабельності зумовлено сукупною дією досліджуваних змінних. На основі проведеного кореляційно-регресійного аналізу та побудованих математичних моделей доведено наявність зв'язку рівня рентабельності з повною собівартістю врожаю та собівартістю насіння сої як за оброблення лише насіння, так і оброблення насіння з подальшим проведенням позакореневого підживлення у критичні фази розвитку рослин. Проаналізовано якість вибраних моделей за відповідними критеріями та встановлено, що розроблені моделі дають змогу підвищити ефективність управління й оперативність прийняття рішень, які стосуються технології вирощування сої.

Ключові слова: *удобрення, оброблення насіння, позакореневе підживлення, урожайність, коефіцієнт еластичності, повна собівартість урожаю, собівартість насіння, економічна ефективність.*

ВСТУП

Розвиток будь-якого напряму бізнесу неможливо уявити без прогнозування і планування. Не є винятком з цього приводу і сільське господарство. Останніми роками більшість агровиробників досить прискіпливо займається бізнес-плануванням власної господарської діяльності. Як правило, аграрії планують власний агробізнес з огляду на результати господарської діяльності попередніх років, беручи до уваги також і можливі ризики погодно-кліматичного [1–3] та економічного характеру впливу. Від того, наскільки правильно і точно буде зроблено прогноз, залежить майбутній фінансовий стан господарства та перспективи його розвитку [4; 5].

Одним із важливих показників, що відображає результативність основної діяльності сільськогосподарського підприємства є рентабельність. Оцінка рентабельності та виявлення чинників, що зумовлюють її зміну, є визначальними для адекватної оцінки діяльності підприємства з метою вибору стратегії його подальшого розвитку [6]. У цьому контексті вагомим є застосування математичного моделювання,

© Н.Г. Буслаєва, А.В. Голодна, Я.В. Грицюк, 2024

що передбачає розроблення певних економіко-математичних моделей для найбільш повного і достовірного відображення процесу функціонування підприємства з метою підвищення його рентабельності. Отже, дослідження чинників впливу на рентабельність вирощування сої є актуальним і зумовлює доцільність розгляду цього питання.

Мета досліджень — побудова адекватних моделей прогнозування рентабельності вирощування насіння сої (*Glycine max* L.) за різних варіантів технології вирощування, визначення істотних чинників впливу на фінансові показники з метою ухвалення ефективних управлінських рішень.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На вітчизняному аграрному ринку соя, як цінна білково-олійна культура, вже багато років, поряд із зерновими культурами, посідає провідні позиції в експорті і переробці на харчові й кормові цілі, а також має стратегічно важливе значення у забезпеченні продовольчої та економічної безпеки країни. У цьому контексті, соя як культура, яка має широкий спектр використання набуває виключного значення. Тому вона займає важливе місце в зерновому та кормовому балансі агроформувань України [7; 8].

Glycine max L. належить до високотехнологічних культур. Зважаючи на це, за умови розроблення нових або вдосконалення наявних елементів технології вирощування важливо застосовувати науковий підхід, тобто всебічно оцінювати відповідність запропонованих прийомів біологічним особливостям культури та ґрунтовим, кліматичним умовам регіону. Як вказують низка авторів [9–11], правильний підбір технології вирощування дасть можливість зменшити ризики для вирощування сої, що зробить її більш привабливою для виробників.

Основними напрямами підвищення ефективності виробництва сої є збільшення врожайності через впровадження інтенсивних технологій вирощування і збирання, з метою зниження витрат на одиницю продукції. Економічна ефективність дає змогу ураховувати реальні витрати, прибутки і на цій основі запропонувати найбільш економічно вигідні технології вирощування культури [12–14].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження з метою удосконалення технології вирощування сої (*Glycine max* L.) в умовах змін клімату, що окреслювала вивчення впливу різних доз мінеральних добрив у основне внесення, позакореневого підживлення органо-мінеральним, а також сівбу насінням, обробленого мікоризоутворювальним препаратом та його поєднання з протруйником на ріст, розвиток рослин і формування продуктивності соєю проводили впродовж 2021–2023 рр. у стаціонарному досліді ННЦ «ІЗ НААН».

Предмет дослідження — сорт сої Муза селекції ННЦ «ІЗ НААН» (сівба звичайним рядковим способом із нормою висіву 750 тис. схожих насінин на гектар).

Технологія вирощування — загальноприйнята для зони проведення досліджень, за виключенням досліджуваних агрозаходів.

Дослідження проводили за схемою: фактор А (удобрення): без добрив (контроль), $P_{45}K_{60}$, $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ у фазі бутонізації, $N_{45}P_{45}K_{60}$; фактор В (передпосівне оброблення насіння): без оброблення, мікоризоутворювальним біопрепаратом Мікофренд (1 л/т насіння), мікоризоутворювальним біопрепаратом Мікофренд у поєднанні з фунгіцидним протруйником Вайбранс RFC, ТН (по 1 л/т насіння); фактор С (позакореневе підживлення рослин), висіяних насінням, оброблених Мікофренд + Вайбранс, органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя (2 л/га) у фази гілкування (ВВСН 21–29), бутонізації (ВВСН 51–59) та цвітіння (ВВСН 60–69).

Повторність досліду — чотириразова. Загальна площа під дослідом — 0,6 га, облікової ділянки — 50 м^2.

Методи досліджень — загальноприйняті для польових дослідів і лабораторних

аналізів. Закладання польових дослідів та виконання досліджень проводили з урахуванням вимог методики дослідної справи [15].

Обробку отриманих результатів здійснювали за допомогою програмного продукту Microsoft Excel. Для аналізу і узагальнення результатів власних досліджень застосовували методи математичної статистики, зокрема кореляційного аналізу для встановлення тісноти зв'язку між показниками та регресійного аналізу для побудови економіко-математичних моделей прогнозування рівня рентабельності. Для оцінки тісноти зв'язку в кореляційному аналізі використовували шкалу Чеддока: слабкий — від 0,1 до 0,3; помірний — від 0,3 до 0,5; помітний — від 0,5 до 0,7; високий — від 0,7 до 0,9; вельми високий (сильний) — від 0,9 до 0,99 [16].

Коефіцієнт еластичності [17] визначали за формулою:

$$Є_i = \alpha_i \times X_{i\text{сер}}/Y_{\text{сер}},$$

де $Є_i$ — коефіцієнт еластичності; α_i — коефіцієнт регресії при *i*-му факторі; $X_{i\text{сер}}$, $Y_{\text{сер}}$ — середнє значення факторної та результативної ознаки.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Як свідчить аналіз отриманих результатів, рівень урожайності сої (*Glycine max* L.) значно залежав від використання в технології вирощування досліджуваних агрозаходів і у середньому за роки досліджень становив від 2,98 до 3,74 т/га. Максимальну врожайність 3,74 т/га відмічали на варіанті технології вирощування, який передбачав внесення $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$, сівбу насінням, обробленим мікоризоутворювальним препаратом у поєднанні з протруйником і проведення позакореневого підживлення органо-мінеральним добривом у фазі бутонізації. Приріст урожайності від застосування мінеральних добрив сягав 3,18–0,36 т/га, або 5,7–11,4% за показника на варіантах без застосування добрив 3,16 т/га; від передпосівного оброблення насіння — 0,11–0,16 т/га, або 3,5–5,1%, від передпосівного оброблення та позакореневого підживлення 0,32–0,41 т/га, або 10,2–13,0% за показника на варіантах без проведення агрозаходів 3,15 т/га.

Результати групування показників, отриманих за різних варіантів технології вирощування сої засвідчують, що із підвищенням рівня врожайності показник економічної ефективності виробництва сої, а саме рівень рентабельності знижується. Зокрема, у варіантах без оброблення насіння лише з використанням мінеральних добрив урожайність зростала від 2,98 до 3,24 т/га, а рентабельність відповідно зменшувалась від 345 до 253%. За обробки насіння мікоризоутворювачем урожайність варіювала від 3,06 до 3,38 т/га, рентабельність від 350 до 261%, а за обробки насіння мікоризоутворювачем із додаванням протруйника значення відповідно знаходились у межах 3,11–3,47 т/га та 344–256%.

За використання мінеральних добрив, передпосівного оброблення насіння та позакореневого підживлення у критичні для росту та розвитку рослин сої фази отримано дещо вищі значення показників, проте закономірність зберіглася. Так, за підживлення у фазі гілкування врожайність зросла від 3,18 до 3,67 т/га, водночас рентабельність знижувалась від 346 до 286%; за підживлення у фазі бутонізації відповідні значення варіювали у межах 3,34–3,74 т/га та 367–281%, а за підживлення у фазі цвітіння 3,31–3,62 т/га і 364–288% (*табл. 1*).

До того ж із вивченням питань, спрямованих на підвищення продуктивності, важливим є визначення зв'язку врожайності насіння *Glycine max* L. з економічними показниками за різних варіантів технології вирощування. Такий зв'язок можливо встановити за допомогою кореляційного аналізу, головним завданням якого є визначення форми та щільності зв'язку між досліджуваними ознаками.

Отримані коефіцієнти кореляції свідчать, що тіснота зв'язку економічних показників з урожайністю у досліді варіювала від високого до сильного рівня. Слід зазначити, що зв'язок повної собівартості та

Таблиця 1. **Економічна ефективність вирощування сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр.***

Оброблення насіння

Удобрення	без оброблення					мікоризоутворювач					мікоризоутворювач + протруйник				
	1*	2*	3*	4*	5*	1*	2*	3*	4*	5*	1*	2*	3*	4*	5*
Без добрив (контроль)	2,98	49,17	11,04	3,71	345	3,06	50,49	11,22	3,67	350	3,11	51,32	11,56	3,72	344
$P_{45}K_{60}$	3,14	51,81	13,82	4,40	275	3,26	53,79	14,00	4,29	284	3,29	54,28	14,34	4,36	279
$N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$	3,24	53,46	15,03	4,64	256	3,38	55,77	15,22	4,50	266	3,47	57,26	15,56	4,48	268
$N_{45}P_{45}K_{60}$	3,22	53,13	15,03	4,67	253	3,33	54,94	15,21	4,57	261	3,36	55,44	15,55	4,63	256

Оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) + позакореневе підживлення у фазі:

Удобрення	гілкування					бутонізації					цвітіння				
	1*	2*	3*	4*	5*	1*	2*	3*	4*	5*	1*	2*	3*	4*	5*
Без добрив (контроль)	3,18	52,47	11,77	3,70	346	3,34	55,11	11,79	3,53	367	3,31	54,62	11,78	3,56	364
$P_{45}K_{60}$	3,41	56,26	14,56	4,27	286	3,49	57,58	14,57	3,74	295	3,42	56,43	14,56	4,26	288
$N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$	3,67	60,56	15,79	4,30	284	3,74	61,71	15,81	4,23	290	3,62	59,73	15,79	4,36	278
$N_{45}P_{45}K_{60}$	3,61	59,56	15,78	4,37	277	3,65	60,22	15,79	4,32	281	3,61	59,56	15,78	4,37	277

Примітки: * — розрахунки змодельовано за цінами 2021 р.: 1* — урожайність насіння, т/га; 2* — вартість урожаю, тис. грн/га; 3* — повна собівартість урожаю, тис. грн/га; 4* — собівартість насіння, тис. грн/т; 5* — рівень рентабельності, %.

Таблиця 2. **Коефіцієнти парного кореляційного зв'язку економічних показників з урожайністю сої за різних варіантів технології вирощування, *r***

Варіант досліду	Повна собівартість урожаю	Собівартість насіння	Рентабельність
Оброблення насіння			
Без оброблення	0,996	0,991	–0,985
Мікоризоутворювач	0,989	0,977	–0,977
Мікоризоутворювач + протруйник	0,950	0,885	–0,889
Оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) + позакореневе підживлення у фазі			
Гілкування	0,973	0,896	–0,888
Бутонізації	0,940	0,941	–0,845
Цвітіння	0,942	0,868	–0,860

собівартості насіння був прямим (r=0,868–0,996), а рентабельності — оберненим (r=–0,845–0,985). Водночас у варіантах за оброблення насіння перед сівбою одержано вищі коефіцієнти, ніж за оброблення насіння у поєднанні з підживленням у критичні фази розвитку (*табл. 2*).

Оскільки одним із основних економічних показників є рентабельність до того ж нами за допомогою кореляційного аналізу було визначено її залежність від інших показників економічної ефективності з подальшим включенням їх до економіко-математичних моделей.

Для побудови математичних моделей прогнозування рівня рентабельності за вирощування сої було обрано метод факторного моделювання. Суть методу полягає в тому, що спочатку визначається система основних чинників, що мають прямий логічний зв'язок із формуванням показника рентабельності. Далі аналізується ступінь дії кожного окремого чинника на формування рентабельності та здійснюється відбір чинників, що мають найбільший вплив для включення їх у багатофакторну модель регресії та подальшого прогнозування.

Вихідними даними для економіко-математичних моделей слугували показники економічної ефективності вирощування насіння сої з використанням добрив, передпосівного оброблення насіння та позакореневого підживлення за період 2021–2023 рр. (див. *табл. 1*).

На основі результатів кореляційного аналізу за шкалою Чеддока встановлено обернений високий та сильний зв'язок рентабельності з економічними показниками. За оброблення лише насіння залежність рентабельності від економічних показників визначалась такими коефіцієнтами парної кореляції: від вартості врожаю r=–0,889 ÷ –0,985; від повної собівартості врожаю r=–0,987 ÷ –0,996; від собівартості насіння r=–0,999 (*табл. 3*).

У варіантах за поєднання оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) із позакореневим підживленням у критичні фази росту та розвитку рослин сої коефіцієнти кореляції відповідно знаходились у діапазоні r=–0,845 ÷ –0,888; r=–0,970 ÷ –0,981 та r=–0,817 ÷ –0,999.

З огляду на результати кореляційного аналізу, для побудови математичних моделей відібрано такі показники: повна собівартість урожаю (X_1) та собівартість насіння сої (X_2) які є чинниками, що можуть здійснювати найбільший вплив на результуючий показник, яким у цьому випадку є рентабельність (Y). На основі наведених вихідних даних побудовані криволінійні моделі для варіантів досліду з обробленням лише насіння та варіантів з обробленням насіння (мікоризоутворю-

Таблиця 3. **Коефіцієнти парної кореляції рентабельності з показниками економічної ефективності за вирощування сої, середнє за 2021–2023 рр.**

Варіант досліду	Чинник впливу		
	вартість урожаю, грн/га	повна собівартість урожаю, грн/га	собівартість насіння, грн/т
Оброблення насіння			
Без оброблення	–0,985	–0,996	–0,999
Мікоризоутворювач	–0,977	–0,996	–0,999
Мікоризоутворювач + протруйник	–0,889	–0,987	–0,999
Загалом	–0,779	–0,975	–0,999
Оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) + позакореневе підживлення у фазі			
Гілкування	–0,888	–0,970	–0,999
Бутонізації	–0,845	–0,976	–0,817
Цвітіння	–0,860	–0,981	–0,999
Загалом	–0,778	–0,962	–0,922

вач + протруйник) та проведенням позакореневого підживлення у критичні фази розвитку культури.

Моделі залежності рентабельності від обраних чинників та їх основні характеристики такі.

Для варіантів з лише обробленням насіння рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 1037{,}4079 - 2{,}9489X_1 + 22{,}1701X_1^{0,5} - 278{,}8882X_2 + 21{,}8512X_2^2;$$

коефіцієнт множинної кореляції $R = 0{,}999$; коефіцієнт детермінації $D = 99{,}8\%$; критерій Фішера фактичний $F_ф = 28751{,}5784$ за $F_{табл.} = 4{,}12$; критерій Стьюдента фактичний ($t_ф$) для коефіцієнтів рівняння відповідно становить: $a_1 = 46{,}027$, $a_2 = 47{,}646$, $a_3 = 970{,}251$, $a_4 = 630{,}067$ за $t_{табл.} = 2{,}29$; коефіцієнти еластичності становлять $Є(X_1) = -0{,}140$; $Є(X_2) = -4{,}187$.

Для варіантів з обробленням насіння (мікоризоутворювач + протруйник) із подальшим позакореневим підживленням у різні фази розвитку сої рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 2011{,}8848 - 121{,}5228X_1 + 3{,}9182X_1^2 - 362{,}7179X_2 + 41{,}6933X_2^2;$$

коефіцієнт множинної кореляції $R = 0{,}991$; коефіцієнт детермінації $D = 98{,}2\%$; критерій Фішера фактичний $F_ф = 99{,}3847$ за $F_{табл.} = 4{,}12$; критерій Стьюдента фактичний ($t_ф$) для коефіцієнтів рівняння відповідно становить: $a_1 = 120{,}483$, $a_2 = 107{,}056$, $a_3 = 71{,}784$, $a_4 = 65{,}449$ за $t_{табл.} = 2{,}29$; коефіцієнти еластичності становлять $Є(X_1) = -5{,}812$, $Є(X_2) = -4{,}888$.

Отже, в процесі кореляційно-регресійного аналізу показників економічної ефективності за різних варіантів технологій вирощування сої (*Glycine max* L.) одержані коефіцієнти множинної (сукупної) кореляції ($R = 0{,}999$ та $0{,}991$) вказують на вельми високу (сильну) тісноту зв'язку між показниками. Коефіцієнт множинної детермінації (D) стверджує, що 99,8% і 98,2% всієї варіації рентабельності зумовлено сукупною дією досліджуваних змінних — повної собівартості врожаю та собівартості насіння. Обидва коефіцієнта засвідчують, що отримані рівняння регресії досить добре описують існуючий зв'язок між показниками.

Окрім того, якість моделей проаналізовано за відповідними критеріями (Фішера й Стьюдента) та встановлено, що фактичне

значення критерію Фішера обох рівнянь ($F_ф$ = 28751,5784 та $F_ф$ = 99,3847) значно перевищує його табличний (критичний) рівень ($F_{табл.}$ = 4,12 при α = 0,05), що підтверджує адекватність побудованих моделей. До того ж визначено, що всі коефіцієнти регресії, які ввійшли до рівнянь, є статистично значущими, оскільки розраховані критерії Стьюдента ($t_ф$ = 46,027 ÷ 970,251) були значно вищими за його табличне значення ($t_{табл.}$ = 2,29).

Для більш повного уявлення про вплив кожного з включених до моделі чинників на результативну ознаку було виявлено коефіцієнт еластичності ($Є_i$), який дає змогу оцінити, на скільки відсотків зміниться результуюча ознака при зміні факторної ознаки на один відсоток за фіксованого значення інших чинників. Проаналізувавши отримані коефіцієнти еластичності за використання лише оброблення насіння, які становлять $Є(X_1)$ = –0,140 та $Є(X_2)$ = = –4,187, можна стверджувати, що підвищення повної собівартості врожаю на 1% сприяє зниженню рентабельності у середньому на 0,14%, а збільшення собівартості насіння сої на 1% до зменшення рентабельності на 4,19%.

За оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) із подальшим позакореневим підживленням у різні фази розвитку сої коефіцієнти еластичності відповідно становили: $Є(X_1)$ = –5,812, $Є(X_2)$ = =–4,888.

ВИСНОВКИ

Результати досліджень засвідчили, що найбільш ефективним був варіант технології вирощування культури, який включав поєднання добрив у дозі $N_{15}P_{45}K_{60}$+ +N_{30} кг/га д.р., передпосівне оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) та позакореневе підживлення органомінеральним добривом у фазі бутонізації, що сприяло одержанню максимальної врожайності насіння сої в досліді 3,74 т/га.

За результатами проведеного кореляційно-регресійного аналізу було встановлено, що найбільший вплив на рентабельність за вирощування сої має повна собівартість урожаю та собівартість насіння культури. Це підтверджують коефіцієнти детермінації, які доводять, що 98,2–99,8% всієї варіації рентабельності зумовлено сукупною дією досліджуваних змінних. На основі цього було побудовано моделі залежності рівня рентабельності від повної собівартості врожаю та собівартості насіння *Glycine max* L. за лише оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) та з подальшим проведенням позакореневого підживлення у критичні для росту і розвитку рослин фази.

Побудовані економіко-математичні моделі є адекватними за критерієм Фішера, а коефіцієнти рівнянь регресії значимі за критерієм Стьюдента, що надає змогу використання моделей для практичного прогнозування рівня рентабельності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Global warming of 1.5°C. Summary for Policy Makers. Switzerland: World Meteorological Organization, United Nations Environment Program, and Intergovernmental Panel on Climate Change. Bern. 2019. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/.
2. Bibi F. and Rahman A. An Overview of Climate Change Impacts on Agriculture and Their Mitigation Strategies. *Agriculture*. 2023. Vol. 13 (8). P. 1508. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture13081508.
3. Степаненко С.М., Польовий А.М., Дем'янюк О.С., Дронова О.О. Зміна режиму опадів в Україні. *Агроекологічний журнал*. 2014. № 2. С. 10–16.
4. Дерев'янський В.П., Каленська С.М. Економічна та енергетична оцінка технологій вирощування сої. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2012. № 1. Т. 1. С. 137–143.
5. Кернасюк Ю.В., Медведєва Л.Р. Конкурентоспроможність і економічна ефективність нових сортів сої. *Вісник Степу*. 2015. Вип. 12. С. 187–189.
6. Маслак О., Ільченко О. Економіка сої в Україні. *Пропозиція*. 2015. № 3. С. 42–46.
7. Бербенець О.В. Світове виробництво сої як невичерпного джерела білків рослинного походження та місце України на світовому ринку торгівлі нею. *Агросвіт*. 2019. № 10. С. 41–45.
8. Коробко А.А. Динаміка виробництва сої в Україні та світі. *Збалансоване природокористування*. 2021. № 4. С. 125–134. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2021.253098.

9. Гангур В.В., Пипко О.С., Прокопів О.О. Продуктивність сої залежно від технології передпосівного обробітку ґрунту та інокулювання. *Scientific Progress & Innovations*. 2021. Вип. 4. С. 85–90. DOI: https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.10.
10. Вожегова Р.А., Коковіхіна О.С. Економічна та енергетична ефективність вирощування насіння сої залежно від сортового складу, удобрення та захисту рослин. *Аграрні інновації*. 2022. Вип. 14. С. 129–134. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.14.19.
11. Шевніков М.Я., Міленко О.Г. Економічна оцінка вирощування сої за різних технологій. *Агробіологія*. 2015. № 2. С. 83–86.
12. Бричко А.М., Зубенок А.В. Економічна ефективність застосування добрив під сою. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-18-42. URL: https://economyandsociety.in.ua/journals/18_ukr/42.pdf.
13. Гадзовський Г.Л., Новицька Н.В. Формування урожайності сої під впливом інокуляції та підживлення. *Миронівський вісник*. 2018. С. 113–122.
14. Грабовський М.Б., Мостипан О.В. Економічна оцінка застосування фунгіцидного і гербіцидного захисту сортів сої різних груп стиглості. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 134. С. 46–53. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.7.
15. Єщенко В.О., Копитко П.Г., Опришко В.П., Костогриз П.В. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ: Дія, 2005. 288 с.
16. Сторожук В.П., Кустовська О.В., Ткач Є.І. та ін. Теорія статистики: курс лекцій / за ред. Є.І. Ткача. Тернопіль: Економічна думка, 2006. 224 с.
17. Півторак М.В., Музиченко О.М. Методи прогнозування чистого прибутку підприємства. *Економіка та держава*. 2021. № 1. С. 24–129. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6806.2021.1.124.

REFERENCES

1. IPCC (2019). Global warming of 1.5°C. Summary for Policy Makers. Switzerland: World Meteorological Organization, United Nations Environment Program, and Intergovernmental Panel on Climate Change. Bern. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/ [in English].
2. Bibi, F. & Rahman, A. (2023). An Overview of Climate Change Impacts on Agriculture and Their Mitigation Strategies. *Agriculture, 13 (8)*, 1508. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture13081508 [in English].
3. Stepanenko, S.M., Polovyi, A.M., Demianiuk, O.S. & Dronova, O.O. (2014). Zmina rezhymu opadiv v Ukraini [Changes in precipitation patterns in Ukraine]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal, 2*, 10–16 [in Ukrainian].
4. Derev'ianskyi, V.P. & Kalenska, S.M. (2012). Ekonomichna ta enerhetychna otsinka tekhnolohii vyroshchuvannia soi [Ekonomic and energy evaluation of soybean cultivation technologies]. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekolohichnoho universytetu — Bulletin of the Zhytomyr National Agroecological University, 1 (1)*, 137–143 [in Ukrainian].
5. Kernasiuk, Yu.V. & Medvedieva, L.R. (2015). Konkurentospromozhnist i ekonomichna efektyvnist novykh sortiv soi [Competitiveness and economic efficiency of new soybean varieties]. *Visnyk Stepu — Herald of the Steppe, 12*, 187–189 [in Ukrainian].
6. Maslak, O. & Ilchenko, O. (2015). Ekonomika soi v Ukraini [Economics of soybeans in Ukraine]. *Propozytsiia — Offer, 3*, 42–46 [in Ukrainian].
7. Berbenets, O.V. (2019). Svitove vyrobnytstvo soi yak nevycherpnoho dzherela bilkiv roslynnoho pokhodzhennia ta mistse Ukrainy na svitovomu rynku torhivli neiu [Global production of soybeans as an inexhaustible source of plant-based proteins and Ukraine's position in the global soybean market]. *Ahrosvit — Agroworld, 10*, 41–45 [in Ukrainian].
8. Korobko, A.A. (2021). Dynamika vyrobnytstva soi v Ukraini ta sviti [Dynamics of soybean production in Ukraine and the world]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia — Balanced nature management, 4*, 125–134. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2021.253098 [in Ukrainian].
9. Hanhur, V.V., Pypko, O.S. & Prokopiv, O.O. (2021). Produktyvnist soi zalezhno vid tekhnolohii peredposivnoho obrobitku hruntu ta inokuliuvannia [Soybean productivity depending on pre-sowing soil treatment and inoculation technologies]. *Scientific Progress & Innovations, 4*, 85–90. DOI: https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.10 [in Ukrainian].
10. Vozhehova, R.A. & Kokovikhina, O.S. (2022). Ekonomichna ta enerhetychna efektyvnist vyroshchuvannia nasinnia soi zalezhno vid sortovoho skladu, udobrennia ta zakhystu roslyn [Economic and energy efficiency of soybean seed cultivation depending on variety composition, fertilization, and plant protection]. *Ahrarni innovatsii — Agrarian innovations, 14*, 129–134. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.14.19 [in Ukrainian].
11. Shevnikov, M.Ia. & Milenko, O.H. (2015). Ekonomichna otsinka vyroshchuvannia soi za riznykh tekhnolohii [Ekonomic evaluation of soybean cultivation under different technologies]. *Ahrobiolohiia — Agrobiology, 2*, 83–86 [in Ukrainian].
12. Brychko, A.M. & Zubenok, A.V. Ekonomichna efektyvnist zastosuvannia dobryv pid soiu [Economic efficiency of fertilizer application for soybeans]. (n.d.). DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-18-42. URL: https://economyandsociety.in.ua/journals/18_ukr/42.pdf [in Ukrainian].
13. Hadzovskyi, H.L. & Novytska, N.V. (2018). Formuvannia urozhainosti soi pid vplyvom inokuliatsii ta pidzhyvlennia [Formation of soybean yield under the influence of inoculation and fertilization]. *Myronivskyi visnyk — Myronivsky herald*, 113–122 [in Ukrainian].
14. Hrabovskyi, M.B. & Mostypan, O.V. (2023). Ekonomichna otsinka zastosuvannia funhitsydnoho i herbitsydnoho zakhystu sortiv soi riznykh hrup styhlost [Economic evaluation of fungicide and herbicide protection application for soybean varieties of different

maturity groups]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk — Taurian Scientific Herald, 134*, 46–53. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.7 [in Ukrainian].
15. Yeshchenko, V.O., Kopytko, P.H., Opryshko, V.P. & Kostohryz, P.V. (2005). *Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii [Fundamentals of scientific research in agronomy]*. Kyiv [in Ukrainian].
16. Storozhuk, V.P., Kustovska, O.V., Tkach, Ye.I. (Ed.) et al. (2006). *Teoriia statystyky: kurs lektsii [Theory of statistics: lecture course]*. Ternopil [in Ukrainian].
17. Pivtorak, M.V. & Muzychenko, O.M. (2021). Metody prohnozuvannia chystoho prybutku pidpryiemstva [Methods for forecasting net profit of an enterprise]. *Ekonomika ta derzhava — Economy and the state, 1*, 24–129. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6806.2021.1.124 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 22.06.2024

УДК 504:638.138.6 DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311193

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ УМОВ СЕРЕДОВИЩА НА ДИНАМІКУ ЗБОРУ БДЖОЛИНОЇ ОБНІЖКИ ТА ПИЛКУ КВІТКОВОГО МЕДОНОСНИМИ БДЖОЛАМИ

Т.Ю. Сенчук[1,2], О.М. Жукорський[3]

[1]ННЦ «Інститут бджільництва імені П.І. Прокоповича» НААН (м. Київ, Україна)

[2]Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: senchuktanya.bee@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5272-8947

[3]Інститут розведення і генетики тварин імені М.В. Зубця НААН
(с. Чубинське, Бориспільський р-н, Київська обл., Україна)
e-mail: o_zhukorskiy@ukr.net; ORCID: 0000-0001-5381-8517

Дослідження, проведено на пасіці ННЦ «Інститут бджільництва імені П.І. Прокоповича» НААН у м. Гадяч, Полтавської обл., охоплює період з 2021 по 2023 рр. і має на меті вивчення динаміки збору бджолиної обніжки медоносними бджолами української степової породи типу Гадяцький з акцентом на вплив погодних умов лісостепової зони на масу, об'єм та розмір бджолиної обніжки. У ході дослідження було виявлено, що середня маса обніжки коливалася від 6,3 до 6,6 кг за сезон від кожної бджолиної сім'ї. Збір обніжки здійснювався з використанням навісних пилкозбірників у межах 8–14 год, а ботанічне походження обніжки встановили за допомогою мікроскопічного аналізу та міжнародної полінологічної бази даних. Вивчено найрозповсюдженіші медоносні рослини, серед яких конюшина лучна, суховершки звичайні, волошка синя, парило звичайне, осот польовий та будяк звичайний. З метою визначення впливу погодних умов на збір обніжки було класифіковано дні як сприятливі та несприятливі, враховуючи температурні показники та вологість повітря. Сприятливими умовами вважалися дні з температурою 18–25°С і відносною вологістю 57–72%, в той час як несприятливими були похмурі дні з північним вітром, температурою нижче 15°С, або вище 28°С, а також вологість понад 72%, або менше 57%. Результати показали, що різні рослини по-різному реагують на зміни погодних умов. Наприклад, маса обніжки конюшини лучної була вищою за сприятливих умов (8,3–12,0 мг), ніж за несприятливих. Однак осот польовий демонстрував зменшення маси обніжки за несприятливих погодних умов. У середньому, збір обніжки розпочинався від 15–20 квітня і тривав до 10–15 серпня. Результати аналізу вказують на те, що весняний пік збору обніжки може бути пов'язаний з інтенсивним нарощуванням бджолиних сімей та потребою в білковому кормі для розплоду. Погодні умови виявилися критичними для продуктивності бджолиних сімей, особливо в періоди цвітіння ключових рослин, як-от акація та липа. Наприклад, у 2023 р. зміна температури навколишнього середовища під час цвітіння липи призвела до зниження збору обніжки. Аналіз показників середньодобової температури і маси обніжки впродовж 2021–2023 рр. підтверджує, що для точного оцінювання динаміки збору пилку недостатньо враховувати лише температурні дані, потрібно також зважати на чинники, такі як вологість повітря і вітер. Отримані дані підкреслюють важливість комплексного підходу до оцінки впливу погодних умов на бджолині сім'ї, що дає змогу більш ефективно використовувати бджолині ресурси та планувати пасічницьку діяльність, орієнтуючи її на специфічні погодні умови та рослинність регіону. Результати дослідження можуть слугувати основою для подальших наукових робіт і розробки адаптаційних стратегій у бджільництві.

Ключові слова: *погодно-кліматичні умови, екологічне бджільництво, перга, збір пилку, температура довкілля.*

ВСТУП

Ріст, розвиток та здоров'я бджолиної сім'ї значною мірою залежать від якості нектару і пилку, збирачами яких є бджоли-фуражири, із ландшафту, що є середовищем їх існування [1]. Тому, вони і є основними запилювачами, адже переносять пилок, добуваючи їжу на квітках. Щоб заповнити медовий зобик, бджола має відвідати в се-

© Т.Ю. Сенчук, О.М. Жукорський, 2024

редньому 100–120 квіток. Для збору пилку для двох обніжок масою 15–20 мг потрібно використати 3–4 млн пилкових зерен. На волосках тіла бджоли може розміщатися суміш до 50–75 тис. зерен пилку різних квітів, які при перельотах бджоли від однієї квітки до іншої потрапляють на їх органи розмноження [2]. До того ж нектар та пилок забезпечують медоносних бджіл необхідними поживними речовинами. У своїй праці Stanley та Linskens (1974) [3] вказували, що медоносні бджоли вигодовують свій розплід пилком, адже пилок складається з різної кількості білка, амінокислот, ліпідів, вітамінів і мінералів, які необхідні для розвитку личинок. Пилок значною мірою сприяє зростанню жирового тіла у личинок і розвитку яєць у матки [4]. Харчова цінність, зокрема вміст білка, сильно відрізняється серед різних видів пилку [5; 6]. Водночас кожен вид рослин характеризується пилком з унікальним поживним складом, і будь-який один вид пилку не може забезпечити повноцінних елементарних потреб у харчуванні медоносних бджіл [3].

Активність збору пилку визначається низкою чинників, які впливають на збір білкового корму медоносними бджолами. До них належать кліматичні й флористичні умови, а також безпосередня потреба бджолиних сімей у білковому кормі. Льотна діяльність бджіл залежить, зокрема, від температури, інтенсивності світла, вітру, дощу і знаходиться в прямій залежності від цих чинників [7].

Мінімальна температура повітря, за якої більшість рослин починають секретувати нектар, становить +10°С. Зі зростанням температури процес виділення солодкої рідини посилюється. Оптимальними умовами для секреції нектару є температура повітря в межах +16...+25°С та вологості 60 %. Зниження або підвищення температури повітря від цих рівнів, недостатня вологість ґрунту не лише зменшують виділення нектарниками нектару, але й можуть змінювати його хімічний склад. Найсприятливіша температура для льотно-збиральної роботи бджіл у межах 16–32°С. Підвищення її понад 34°С не тільки негативно позначається на виділенні нектару, але й змушує сім'ю переключатись на охолодження гнізда, посилено приносити воду, вентилювати й скупчуватись зовні вулика біля льотка [8].

Мета роботи — встановити залежність збору пилку квіткового та маси бджолиної обніжки від змін температурних умов середовища.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Бджоли є основними запилювачами в більшості екосистем, а медоносні бджоли (*Apis mellifera* L.) є важливими постачальниками екосистемних послуг і продуктів запилення. Вони є провідними агентами-запилювачами, які позитивно впливають на якісні та кількісні показники врожаю, а також відіграють важливу роль у підтримці біорізноманіття квіткових рослин, що забезпечує стабільність екосистем. Їх неоціненний внесок обумовлений тим, що більшість видів рослин у природних екосистемах запилюються саме бджолами. До того ж 65% культур, важливих у харчовому відношенні, та 86% цінних деревних порід залежать від запилення бджолами. Запилювальна активність бджіл має неоціненне значення для генетики рослин. Виникнення більшості нових сортів і видів рослин значною мірою залежить від бджіл. Запилення бджолами також сприяє зростанню та різноманітності рослин, що важливо для поліпшення якості повітря та збереження екологічної рівноваги [9]. Зона медозбору, з якої бджоли інтенсивно збирають нектар, знаходиться в радіусі 2–2,5 км. Вік бджіл не впливає на дальність їх польоту. Залежно від рівня медозбору та відстані від джерела до вулика, тривалість польоту бджіл коливається від 15 до 103 хв. Під час збору нектару тривалість польоту сягає 10–60 хв, а при зборі пилку — 6–30 хв. За добу бджола здійснює в середньому 8–10 вильотів, приносячи за один виліт 30–40 мг нектару, або 10–15 мг пилку. Витрати корму на льотну діяльність середньої бджолиної сім'ї за сезон становлять 28–

30 кг, а на життя і роботу бджіл у вулику — 48–52 кг на рік [10].

Зміна клімату є однією з головних загроз для медоносних бджіл, адже це глобальне і багатогранне явище, що серйозно позначається на поширенні й чисельності широкого спектра екосистем і організмів, включаючи рослини та комах-запилювачів [11]. Зміна клімату діє на комах-запилювачів, їх активність і ефективність запилення [12; 13]. Kerr J.T., Pindar A., Galpern P. [14] зазначають, що зміна клімату різко скоротила місця проживання бджіл і природні джерела їжі. Усі зміни клімату прямо чи опосередковано змінюють місцеві засоби до існування медоносних бджіл і впливають на їхнє здоров'я.

За даними міжнародної організації COLOSS, середній показник загальних втрат бджолиних колоній після зимівлі 2016–2017 рр. на території країн-учасниць становив 20,9% [15]. В Україні втрати сягали 17,9%, що у 1,8 раза вище порівняно з зимівлею 2015–2016 рр. (9,9%). У США втрати становили 21,1%, що є найнижчим показником за останні 12 років. У Канаді мали втрати 25,7%, що є трохи нижче середнього за останні 10 років [16–18].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведено дослідження впродовж 2021–2023 рр. на пасіці ННЦ «Інститут бджільництва імені П.І. Прокоповича» НААН, яка розташована в м. Гадяч Миргородського р-ну Полтавської обл. У дослідженнях були задіяні медоносні бджоли української степової породи типу Гадяцький. Було відібрано 10 бджолиних сімей однакової сили, які мали одновікових бджолиних маток. Бджолині сім'ї утримуються у вуликах-лежаках за загальноприйнятими методами догляду.

Під час експерименту було визначено ефективність використання бджолами збору бджолиної обніжки в зоні їх продуктивного польоту.

Методи дослідження: зоотехнічний — оцінка бджолиних колоній, їхня продуктивність; фенологічний — час цвітіння рослин; етологічний — політ-збирання бджіл; статистично-біометрична обробка дослідницьких матеріалів [19].

Показники температури було взято з електронного джерела Meteoblue [20]. Льотну активність бджіл виявляли за кількістю індивідуальних прильотів бджіл із ношею у вулик, у середньому за 3 хв. Біометричну обробку дослідницьких даних було проведено згідно з методом Н.А. Плохінського. Бджолину обніжку відбирали щороку за трикратної повторюваності в період цвітіння дикорастучих рослин. Для визначення ботанічного складу пилку відібрану обніжку досліджували під мікроскопом МСБ-10. Визначення маси бджолиної обніжки здійснювали на прикладі найчастіше відвідуваних бджолами різновидах медоносних рослин. Отриману бджолину обніжку від всіх десяти сімей змішували і розділяли на групи за кольором. Із кожної групи збирали по 10 обніжок та зважували.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Вивчаючи збиральну активність бджіл, ми звернули увагу на різницю в масі, об'ємі та розмірі бджолиної обніжки. Тому було ухвалено рішення щодо вивчення впливу погодних умов на масу зібраної бджолами обніжки. До сприятливих погодних умов ми віднесли дні із середньою температурою повітря 18–25°С та відносною вологістю повітря 57–72%, безвітряні або східно-південний вітер. До несприятливих — похмурі дні, з північним вітром, температурою повітря 15–18°С і 25–28°С та вище, відносною вологістю повітря 72% і вище, або нижче 57%. Метеорологічні дані фіксували на пасіці під час проведення досліджень.

Бджолину обніжку збирали за допомогою навісних пилкозбірників від 8 до 14 год. Зважування проводили на вагах, ботанічне походження визначали під мікроскопом та за допомогою атласу пилкових зерен та міжнародної полінологічної бази даних [21; 22].

Для дослідження маси бджолиної обніжки обрали найрозповсюдженіші рос-

Таблиця 1. **Періоди цвітіння досліджуваних рослин-медоносів**

Назва рослини	Початок цвітіння	Завершення цвітіння
Конюшина лучна (*Trifolium pratense* L.)	20.05	08.08
Суховершки звичайні (*Primula vulgaris* L.)	25.05	20.06
Волошка синя (*Centaurea cyanus* L.)	15.06	17.07
Парило звичайне (*Agrimonia eupatoria* L.)	20.06	12.08
Осот польовий (*Cirsium arvense* (L.) Scop.)	01.07	01.08
Будяк звичайний (*Carduus acanthoides* L.)	10.07	15.08

лини в радіусі продуктивного льоту бджіл (*табл. 1*).

Вигляд пилкових зерен цих рослин зображено на *рис. 1.*

Ми проаналізували динаміку збору бджолиної обніжки за 2021–2023 рр. на пасіці ННЦ «Інститут бджільництва імені П.І. Прокоповича» НААН, яка розташована в м. Гадяч Миргородського р-ну та утримується українська степова порода бджіл типу Гадяцький (*табл. 2*).

Отже, рослини-пилконоси не однаково реагують на погодні умови. Це пов'язано не тільки із біологією рослини, а ще й залежить від температури навколишнього середовища, вологості повітря та вітру.

У несприятливі за метеорологічними умовами, бджоли зазвичай приносять маленьку за розмірами бджолину обніжку. Середня маса бджолиної обніжки знижувалася під час несприятливих погодних умов. Однак у деяких рослин спостерігали, що несприятливі погодні умови краще впливали на утворення пилку. Аналіз даних допомагає більш ефективно використовувати бджолині сім'ї для збору бджолиної обніжки, знати її резерви та ботанічний склад навколо пасіки.

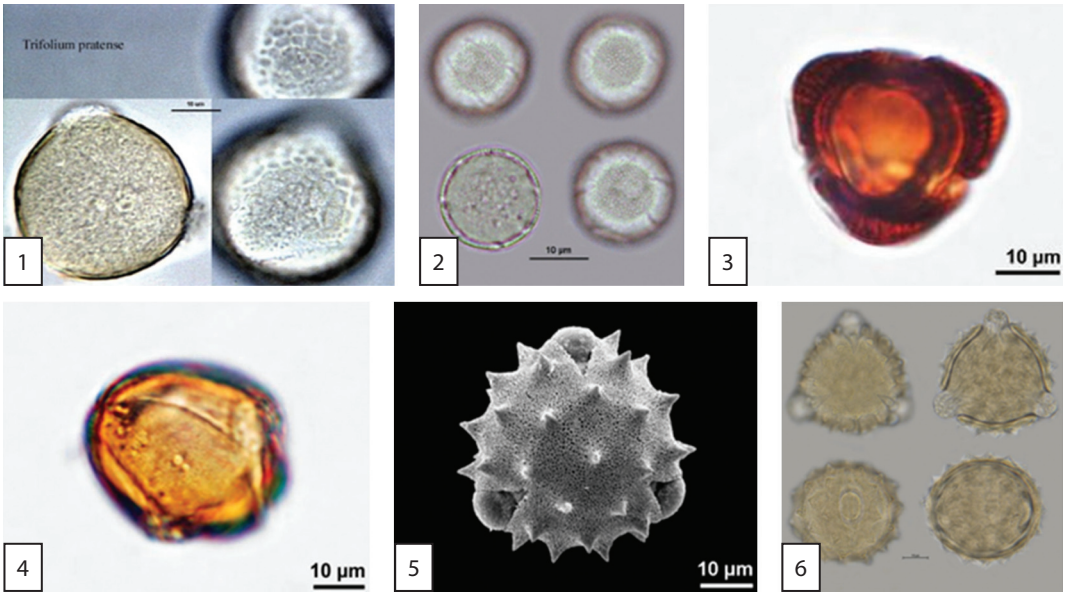


Рис. 1. Пилкові зерна досліджуваних рослин-медоносів (див. *табл. 1*)

Примітки: 1 — Trifolium pratense L.; *2 — Primula vulgaris* L.; *3 — Entaurea cyanus* L.; *4 — Agrimonia eupatoria* L.; *5 — Cirsium arvense* (L.) Scop.; *6 — Carduus acanthoides* L. (URL: PalDat).

Таблиця 2. **Маса бджолиного обніжжя**

Назва рослин	Сприятливі погодні умови			Несприятливі погодні умови		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Конюшина лучна, мг	8,3	11,0	10,9	8,7	11,4	12,0
Волошка синя, мг	7,5	8,1	8,9	8,2	8,0	7,8
Осот польовий, мг	5,2	5,0	4,9	5,0	4,9	4,7
Парило звичайне, мг	6,8	6,3	6,6	7,2	7,0	7,0
Суховершки звичайні, мг	7,2	7,0	7,1	7,0	7,1	6,9
Будяк звичайний, мг	6,2	6,3	5,9	6,0	5,9	5,4

На графіку (*рис. 2*) зображено динаміку збору бджолиного обніжжя впродовж 2021–2023 рр. У середньому за сезон отримано 6,3–6,6 кг обніжжя від кожної бджолиної сім'ї. Аналіз результатів показує, що динаміка збору пилку по сезонах різна. Дані діаграми вказують на те, що розвиток бджолиних сімей був стабільним. Однак спостерігали деякі піки. Це, на нашу думку, свідчить про зміни в кормовій базі, вплив погодних умов на рослини та формування пилку. За нашими спостереженнями всі три роки початок збору бджолиної обніжки починався з 15–20 квітня і закінчувався 10–15 серпня.

Різке зростання збору пилку навесні починається відразу після зміни зимувалих бджіл на молодих та в період інтенсивного збільшення (зростання) сімей. У ці періоди в бджолиних гніздах багато розплоду та молодих бджіл, які потребують значної кількості білкового корму. Весняний пік збору обніжжя можна пояснити ще й тим, що флора в літній період менш різноманітна та збіднена.

Порівнюючи отримані результати зі збору обніжжя відзначено, що крім весняного піку, активний збір обніжжя ще припадає на період цвітіння соняшника (кінець липня–початок серпня). Завдяки цьому бджолині сім'ї проводили гарне зимове нарощування.

Додатково фіксували температурні дані у 2021–2022 рр. (*рис. 3*). Найнижчі середньодобові температури спостерігалися у 2022 р. Умовно сприятливими для збору пилку у 2021 р. були травень, червень, перша половина липня; у 2022 р. — червень, перша половина липня та перша половина серпня; у 2023 р. найсприятливіші тем-

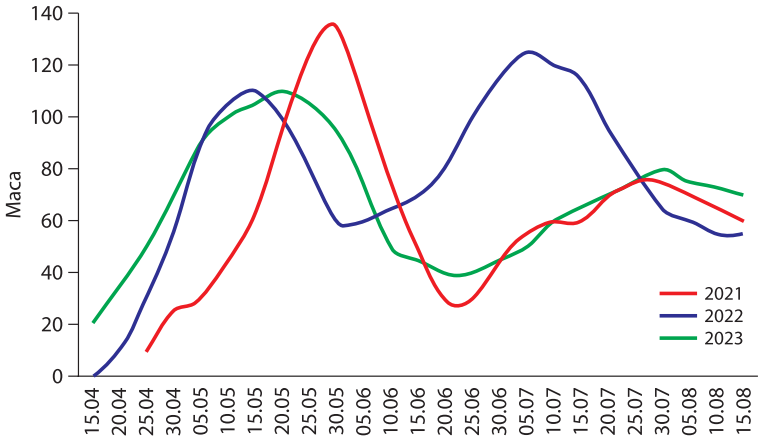


Рис. 2. Щоденний середній приніс бджолиної обніжки до вулика

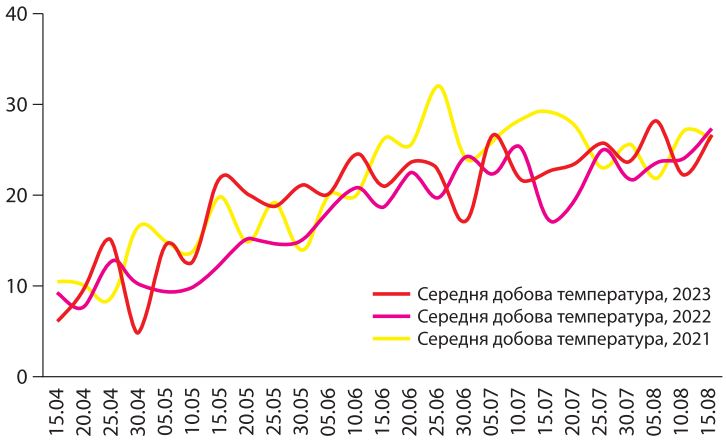


Рис. 3. Динаміка середньодобових температур за 2021–2023 рр. по м. Гадяч

ператури були у другій половині травня, червні та липні.

Залежності маси зібраних обніжок та середньодобової температури за три роки висвітлено на *рис. 4–6*.

Середньомісячна температура у весняний період становила 14,1°С, що негативно вплинуло на розвиток бджолиних сімей й затримало виліт бджіл на 10 днів. Період квітування рослин також змістився на 7–10 діб порівняно з 2022 і 2023 рр. Щодо погодних змін в 2022 р. — все відбувалося в межах норми. 2023 р. вніс корективи — навесні бджоли гарно розвивалися та були активними на зборі пилку. Під час цвітіння акації бджолині сім'ї гарно відпрацювали на зборі нектару та продовжували нарощувати силу. Однак на період цвітіння липи, температура навколишнього середовища змінилася, і це зумовило зниження активності квітів — майже не утворювався нектар та не було пилку в достатній кількості. З 15 по 25 червня 2023 р. сім'ї збирали від 30 до 40 г обніжки в день. На такий низький збір у цей період вплинули такі важливі чинники, як зміна кормової бази,

Рис. 4. Динаміка середньодобової температури та середньої маси бджолиного обніжжя за 2021 р.

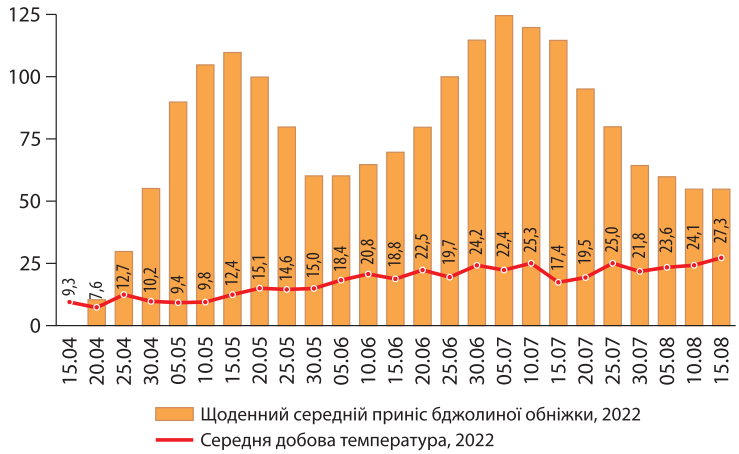


Рис. 5. Динаміка середньодобової температури та середньої маси бджолиного обніжжя за 2022 р.

Рис. 6. Динаміка середньодобової температури та середньої маси бджолиного обніжжя за 2023 р.

недостатня кількість пилку в природі й насичення місцевості бджолами через їх біологічне зростання та кочівлю інших пасік на липу, яка цвіте в місцевості, поблизу досліджуваної пасіки.

Вивчивши графіки за 2021–2023 рр. можна зробити висновки про те, що для дослідження динаміки збору пилку в лісостеповій зоні недостатньо брати до уваги тільки показники температури.

ВИСНОВКИ

Дослідженнями встановлено, що погодні умови істотно впливають на масу зібраної бджолами обніжки. Сприятливі умови (температура 18–25°С, відносна вологість 57–72%, східно-південний вітер) підвищували ефективність збору пилку, тоді як несприятливі умови (температура 15–18°С, або 25–28°С, вологість вище 72% або нижче 57%, північний вітер) знижува-

ли масу обніжки. Крім того, деякі рослини демонстрували кращі результати збору пилку навіть за несприятливих умов.

Збір пилку змінюється впродовж сезону, зокрема, спостерігалися весняні піки, пов'язані з інтенсивним розвитком бджолиних сімей після зими, а також пік у період цвітіння соняшника, що свідчить про зміни в кормовій базі та вплив погодних умов на розвиток рослин. Аналіз даних за 2021–2023 рр. засвідчив, що температурні умови істотно позначились на динаміці збору пилку; наприклад, у 2023 р. через сприятливі умови навесні бджоли активно розвивалися та збирали пилок, однак подальше погіршення умов у червні спричинило зниження продуктивності.

Для ефективного дослідження та планування збору пилку в лісостеповій зоні недостатньо враховувати лише температурні показники, необхідно також аналізувати інші чинники, як-от вологість повітря, вітер, наявність кормової бази та вплив інших пасік. Ці висновки можуть бути корисними для оптимізації роботи пасік та підвищення ефективності збору бджолиної обніжки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ball D.W. The Chemical Composition of Honey. *Journal of Chemical Education*. 2007. Vol. 84. P. 1643–1647. DOI: https://doi.org/10.1021/ed084p1643.
2. Мирось В.В., Ковтун С.Б. Практикум з бджільництва. Харків: ХНАУ, 2014. 192 с.
3. Stanley R.G. and Linskens H.F. Pollen: Biology, biochemistry, management. Heidelberg: Springer Verlag, 1974.
4. Pernal S.F. and Currie R.W. Pollen quality of fresh and 1-year-old single pollen diets for worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *Apidologie*. 2000. Vol. 31. P. 387–410. DOI: https://doi.org/10.1051/apido:2000130.
5. Standifer L.N. A comparison of the protein quality of pollens for growth-stimulation of the hypopharyngeal glands and longevity of honey bees, *Apis mellifera* L. (*Hymenoptera*: *Apidae*). *Ins. Soc*. 1967. Vol. 14. P. 415–425. DOI: https://doi.org/10.1007/BF02223687.
6. Roulston T.H. and Cane J.H. Pollen nutritional content and digestibility for animals. *Plant Systematics and Evolution*. 2000. Vol. 222. P. 187–209. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00984102.
7. Міщенко О.А., Литвиненко О.М., Афара К.Д., Криворучко Д.І. Вплив відбору бджолиного обніжжя пилковловлювачем на льотну активність та поведінку бджіл-збиральниць квіткового пилку. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*: зб. наук. пр. 2021. № 1. С. 25–33. DOI: 10.33245/2310-9289-2021-164-1-25-33.
8. Sichenko O.M., Kryvyi M.M. and Dikhtiar O.O. Iintensity of bees' flight activity depending on the environmental temperature. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: Livestock*. 2020. Vol. 4 (47). P. 149–153. DOI: https://doi.org/10.32845/bsnau.lvst.2021.4.25.
9. Patel V., Pauli N., Biggs E. et al. Why bees are critical for achieving sustainable development. *Ambio*. 2021. Vol. 50 (1). P. 49–59. DOI: https://doi.org/10.1007/s13280-020-01333-9.
10. Razanova O., Kucheriavy V., Tsaruk L. et al. Productive flight activity of bees in the active period in the conditions of Vinnytsia region. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*. 2021. Vol. 9 (4). P. 2138. DOI: https://doi.org/10.31893/jabb.21038.
11. Атарщикова А.М., Сенчук Т.Ю., Жукорський О.М. Гігієнічна активність медоносних бджіл на окремих територіях України. *Агроекологічний журнал*. 2024. № 1. С. 158–164. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2024.299952.
12. Glinski Z. and Kostro K. Zespol masowego giniecia pszczol nowa grozna choroba pszczoly miodnej. *Życie Weterynaryjne*. 2007. Vol. 82 (08). P. 651–653.
13. Лавренко С.О., Соболь О.М., Корбич Н.М., Кривий В.В. Напрями та перспективи використання комах-запилювачів для біоіндикації стану екосистем та змін клімату в умовах півдня України. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер.: Агрономія і біологія*. 2022. № 47 (1). DOI: https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.11.
14. Kerr J.T., Pindar A., Galpern P. et al. Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science*. 2015. Vol. 349. P. 177–180. DOI: https://doi.org/10.1126/science.aaa7031.
15. Colony losses monitoring — COLOSS. URL: https://coloss.org/activities/coreprojects/monitoring/.
16. Федоряк М.М., Тимочко Л.І., Кульманов О.М. та ін. Втрати колоній медоносних бджіл (*Apis mellifera* L.) в Україні за результатами зимівлі 2016–2017 рр. в рамках міжнародного моніторингу. *Біологічні системи*. 2018. Т. 10. Вип. 1. С. 37–46. DOI: https://doi.org/10.31861/biosystems2018.01.037.
17. Fedoriak M.M., Tymochko L.I., Shkrobanets O.O. et al. Results of annual monitoring of honey bee colony winter losses in Ukraine: winter 2019–2020. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series: Ecology*. 2021. Vol. 25. P. 111–124. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-10.
18. Gray A., Adjlane N., Arab A. et al. Honey bee colony loss rates in 37 countries using the COLOSS survey for winter 2019–2020: the combined effects of operation size, migration and queen replacement. *Journal*

of Apicultural Research. 2023. Vol. 62 (2). P. 204–210. DOI: https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2113329.
19. Броварський В.Д., Бріндза Я., Отченашко В.В. та ін. Методика дослідної справи у бджільництві. Київ: Видавничий дім «Вінніченко. 2017.
20. Meteoblue. URL: https://www.meteoblue.com.
21. Adams M.A. Pollen Grains & Honeydew: A Guide for Identifying the Plant Sources in Honey. Northern Bee Books. 2021.
22. PalDat — Palynological Database. URL: https://www.paldat.org/.

REFERENCES

1. Ball, D.W. (2007). The Chemical Composition of Honey. *Journal of Chemical Education, 84*, 1643–1647. DOI: https://doi.org/10.1021/ed084p1643 [in English].
2. Myros, V.V. & Kovtun, S.B. (2014). *Praktykum z bdzhilnytstva [Workshop on beekeeping]*. Kharkiv: KhNAU [in Ukrainian].
3. Stanley, R.G. & Linskens H.F. (1974). Pollen: Biology, biochemistry, management. Heidelberg: Springer Verlag [in English].
4. Pernal, S.F. & Currie, R.W. (2000). Pollen quality of fresh and 1-year-old single pollen diets for worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *Apidologie, 31*, 387–410. DOI: https://doi.org/10.1051/apido:2000130 [in English].
5. Standifer, L.N. (1967). A comparison of the protein quality of pollens for growth-stimulation of the hypopharyngeal glands and longevity of honey bees, *Apis mellifera* L. (*Hymenoptera*: *Apidae*). *Ins. Soc., 14*, 415–425. DOI: https://doi.org/10.1007/BF02223687 [in English].
6. Roulston, T.H. & Cane, J.H. (2000). Pollen nutritional content and digestibility for animals. *Plant Systematics and Evolution, 222*, 187–209. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00984102 [in English].
7. Mishchenko, O.A., Lytvynenko, O.M., Afara, K.D. & Kryvoruchko, D.I. (2021). Vplyv vidboru bdzholynoho obnizhzhia pylkovlovliuvachem na lotnu aktyvnist ta povedinku bdzhil-zbyralnyts kvitkovoho pylku [The influence of the selection of bee pollen by a pollinator on the flight activity and behavior of pollen-gathering bees]. *Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnytstva: zbirnyk naukovykh prats — Technology of production and processing of animal husbandry products: collection of scientific works, 1*, 25–33 [in Ukrainian].
8. Sichenko, O.M., Kryvyi, M.M. & Dikhtiar, O.O. (2022). Intensity of bees' flight activity depending on the environmental temperature. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: Livestock, 4 (47)*, 149–153. DOI: https://doi.org/10.32845/bsnau.lvst.2021.4.25 [in English].
9. Patel, V., Pauli, N., Biggs, E., Barbour, L. & Boruff, B. (2021). Why bees are critical for achieving sustainable development. *Ambio., 50 (1)*, 49–59. DOI: https://doi.org/10.1007/s13280-020-01333-9 [in English].
10. Razanova, O., Kucheriavy, V., Tsaruk, L., Lotka, H. & Novgorodska, N. (2021). Productive flight activity of bees in the active period in the conditions of Vinnytsia region. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology, 9 (4)*, 2138. DOI: https://doi.org/10.31893/jabb.21038 [in English].
11. Atarshchykova, A.M., Senchuk, T.Yu. & Zhukorskyi, O.M. (2024). Hihiienichna aktyvnist medonosnykh bdzhil na okremykh terytoriiakh Ukrainy [Hygienic activity of honey bees in certain territories of Ukraine]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal, 1*, 158–164. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2024.299952 [in Ukrainian].
12. Glinski, Z. & Kostro, K. (2007). Zespol masowego giniecia pszczol nowa grozna choroba pszczoly miodnej. *Życie Weterynaryjne, 82 (08)*, 651–653 [in Polish].
13. Lavrenko, S.O., Sobol, O.M., Korbych, N.M. & Kryvyi, V.V. (2022). Napriamy ta perspektyvy vykorystannia komakh-zapyliuvachiv dlia bioindykatsii stanu ekosystem ta zmin klimatu v umovakh pivdnia Ukrainy [Directions and prospects for the use of pollinating insects for bioindication of the state of ecosystems and climate change in the conditions of southern Ukraine]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriia: Ahronomiia i biolohiia — The bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: Agronomy and Biology, 47 (1)*, 80–90. DOI: https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.11 [in Ukrainian].
14. Kerr, J.T., Pindar, A., Galpern, P. et al. (2015). Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science, 349*, 177–180. DOI: https://doi.org/10.1126/science.aaa7031 [in English].
15. Colony losses monitoring — COLOSS. (n.d.). URL: https://coloss.org/activities/coreprojects/monitoring/ [in English].
16. Fedoriak, M.M., Tymochko, L.I., Kulmanov, O.M. et al. (2018). Vtraty kolonii medonosnykh bdzhil (*Apis mellifera* L.) v Ukraini za rezultatamy zymivli 2016–2017 rr. v ramkakh mizhnarodnoho monitorynhu [Honey bee (*Apis mellifera* L.) colony losses in Ukraine after the winter of 2016–2017 within the international monitoring]. *Biolohichni systemy — Biological systems, 10 (1)*, 37–46. DOI: https://doi.org/10.31861/biosystems2018.01.037 [in Ukrainian].
17. Fedoriak, M.M., Tymochko, L.I., Shkrobanets, O.O. et al. (2021). Results of annual monitoring of honeybee colony winter losses in Ukraine: winter 2019–2020. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series: Ecology, (25)*, 111–124. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-10 [in English].
18. Gray, A., Adjlane, N., Arab, A. et al. (2023). Honey bee colony loss rates in 37 countries using the COLOSS survey for winter 2019–2020: the combined effects of operation size, migration and queen replacement. *Journal of Apicultural Research, 62 (2)*,

204–210. DOI: https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2113329 [in English].
19. Brovarskyi, V.D., Brindza, Ya., Otchenashko, V.V. et al. (2017). *Metodyka doslidnoi spravy u bdzhilnytstvi [Methodology of a test case in beekeeping]*. Kyiv: Vydavnychyi dim «Vinichenko» [in Ukrainian].
20. Meteoblue. (n.d.). URL: https://www.meteoblue.com [in Ukrainian].
21. Adams, M.A. (2021). Pollen Grains & Honeydew: A Guide for Identifying the Plant Sources in Honey. Northern Bee Books [in English].
22. PalDat — Palynological Database. (n.d.). URL: https://www.paldat.org/ [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 07.07.2024

ABSTRACT

Drebot O., Palapa N., Dikhtyar I. Food security is a global problem of humanity and the main factors affecting it. Agroecological journal. 2024. No. 3. P. 6–17.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: palapa60@ukr.net

Food, its production, distribution and consumption are the most important elements of the world economic system. The significance of the food problem is determined primarily by the fact that in the structure of human needs, the need for food is of primary importance. In addition, the degree of her satisfaction is insufficient. The problem of food security is one of the most important global problems today. Rising food prices amid the global financial crisis have made food unaffordable for many families, especially in developing countries. The article analyzes various scientific approaches that explain the essence of the global food problem, the place of food security in the system of economic security of the state as its separate component. According to the processed materials of the FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), modern views on food security as one of the global problems of mankind were systematized, the world state of food security was analyzed and the main factors affecting it were determined. It was established that the largest number of undernourished people live in Asia (55%), Africa (37%), Latin America and the Caribbean (8%). It was found that poverty is the main driver of food insecurity. Losses of food products at all stages of their promotion in the supply chain (production, transportation, storage and consumption), as well as FAO recommendations on ways to transform food systems to solve the global food problem and «ensure access to affordable and healthy food for all segments of the population in the countries of the world» are given in the context of achieving the goals of sustainable and inclusive development». The problem of food supply for Ukraine is briefly described. According to a preliminary estimate by the FAO, direct losses of assets in the field of agriculture as a result of the war in Ukraine amount to more than 6.5 billion US dollars. At present, the losses of available cultivated areas amount to more than 25% including more than 70% of irrigated lands, about 25% of berry crops and — 20% of gardens.

K e y w o r d s: food supply to the world population, poverty, hunger, food losses, supply chains, world population growth, armed conflicts and wars, agricultural productivity.

Priadka T.[1], Drebot O.[2], Komorova N.[1] Sustainable (balanced) land use development is the basic foundation for the formation of Ukraine's land system. Agroecological journal. 2024. No. 3. P. 18–25.

[1] *Bila Tserkva National Agrarian University*

[2] *Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

e-mail: 1435351@gmail.com

The article examines the key aspects of sustainable land use as a foundation for the effective development of rural areas and communities. Balanced land use should be viewed through the lens of land management development and the implementation of integrated land resource management. The excessive intensification of agriculture and the rapid expansion of cities lead to the loss of beneficial land functions, causing land degradation. The study assessed the ecological stability of territories and revealed an unsatisfactory state of ecological stability in Ukraine, associated with the high level of land plowing (68.4%). It is noted that preserving and restoring land as a unique natural resource requires active intervention by government bodies to stimulate measures for the protection and restoration of land resources through the implementation of effective environmental initiatives. Due to progressing erosion, approximately 40–50 billion hryvnias are lost annually. It is proposed to develop a conceptual strategy for enhancing the ecological sustainability of land management at the legislative level, as well as during the reform of land relations, with a focus on the ecological reorganization of the land management system in the country, regions, and newly established territorial communities. Ecologically sustainable land use is possible only with the implementation of scientific and technological advancements and the orientation of the economy towards ecological principles at the national, regional, and local levels. Sustainable land use development means not only the effective utilization of land resources but also the creation of an appropriate land institutional structure and a favorable environment for land resource management, as well as the formation of social relations that promote the rational use of ecosystems while maintaining a balance between environmental, economic, and social components. In recent years, the practice of farming under market conditions has confirmed that the productivity and efficiency of agricultural activities primarily depend on the effective use of agricultural land. Modern research presents various approaches to identifying factors that influence the efficiency of agricultural land use. It should be noted that effective land use in agricultural enterprises must be combined with economic efficiency in land management. One of the important ways to achieve this is by enhancing the operation of agricultural producers, as well as improving the mechanism based on the integration of

ecological and economic components, which ensure the quality use of agricultural land.

K e y w o r d s: land degradation, environmental imbalance, greening, land resources, environmental sustainability assessment, rural areas, territorial communities.

Mudrak O.[1], Mudrak H.[2], Semeniv V.[3], Antoniuk Yu.[4], Riabokon O.[1], Herasimova O.[1] Environmental monitoring of the agrosphere: theory, methodology, practice. Agroecological journal. 2024. No. 3. P. 26–37.

[1] *Public Higher Educational Establishment «Vinnytsia Academy of Continuing Education»*

[2] *Vinnytsia National Agrarian University*

[3] *Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University*

[4] *Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

e-mail: ov_mudrak@ukr.net

The article deals with the theory, methodology and practice of conducting comprehensive ecological monitoring of the agrosphere of Ukraine, which is caused by ecologically unreasonable land use, insufficient technical and technological support, implementation of ineffective investment and innovative economic and technological solutions, and violation of balance of agrolandscapes due to their significant plowing, soil compaction, deterioration of the ratio of arable land to ecological stabilization lands and natural and nature reserve fund, ineffective implementation of ecological and emerald networks, destruction of soil cover (reduction of soil cover (reduction of soil buffering), and a decrease in the level of agrobiodiversity, an increase in the area of degraded land. A science-based methodology is proposed for improving environmental monitoring of the Ukrainian agrosphere for different types of agrolandscapes, their optimization, efficient use and conservation of biodiversity. The stages and specifics of conducting comprehensive environmental monitoring of the agrosphere are presented for different types of agrolandscapes, their functional and structural elements, the main directions and practical approaches are proposed. The necessity of conducting the proposed integrated system of environmental monitoring of the agrosphere for different types of agrolandscapes in the territory of the state and the creation of regional information and advisory centers on agro-environmental issues are proved. For the effective implementation of comprehensive environmental monitoring of Ukrainian agro-sphere for different types of agro-landscapes, it is recommended to create a bank of reference soils (for the purpose of comparative analysis). It is proposed to create appropriate environmental information databases for advisory and implementation centers on agro-environmental issues, which will make it possible to effectively implement programs for sustainable development of the agricultural sector of Ukraine.

K e y w o r d s: agrobiodiversity, agrolandscapes, agroecosystems, environmental certification, sustainable development, land use optimization.

Polishchuk V. A systematic analysis of European markers of balanced environmental management under the conditions of economic circularity. Agroecological journal. 2024. No. 3. P. 38–52.

Public Higher Educational Establishment «Vinnytsia Academy of Continuing Education»

e-mail: vpolischuk7@gmail.com

The main task of the article is to research the role of balanced environmental management in the construction of a circular model of the European countries' economy by using environmental and economic markers. It determines the level of environmental pollution and other environmental problems, including those caused by resource waste. It proposes a technological method of wastewater treatment from estrogen, microplastic particles and oil by using iron oxide. The rate of population for which secondary wastewater treatment is available and its importance for water efficiency under the conditions of significant water crisis in Europe was determined. The paper identifies the main indicators of economic losses of European countries that depend on climate change, because the weather anomalies have a significant impact on economic processes. It studies the dynamics of changes in the area of forested land according to FAO of the European G7 members, the current potential of forest resources of Ukraine and identifies the necessity of systematic electronic wood accounting. It is established that in the EU countries the practice of returning many types of raw materials to production after waste processing has long been accepted, and the need for the fastest possible introduction of innovative processing technologies is identified. Mathematical formulas for calculating the coefficient of cyclicality, circular use of materials and establishes the level of using cyclical materials by European manufacturers are derived. It is established that to identify the efficiency and dynamism of waste transformation, it is appropriate to use an indicator that measures the fraction of recycled household waste in the total volume of its generation. The article establishes the share of fossil fuels in the total available energy of European countries and analyses the dynamics of primary energy consumption based on the example of the Scandinavian countries. It identifies the level of revenues from environmental taxes in most European countries and their importance for the circular economy. It is recommended for Ukraine to study and use the experience of the European Union countries for construction its own model of circular economy based on the principles of balanced nature management and sustainable development.

K e y w o r d s: deforestation, climate change; secondary treatment, circularity factor, waste treat-

ment plants; fossil fuels, waste recycling, renewable energy.

Koniakin S., Burda R., Budzhak V. Attributive analysis of the anthropophytes fraction as part of the urban flora of Kyiv urban area (the degree of naturalization, invasive status, threat assessment for local ecosystems and biotic diversity). Agroecological journal. 2024. No. 3. P. 53–61.

Institute for Evolutionary Ecology, NAS of Ukraine

e-mail: ser681@ukr.net

International ecological scientific community pays special attention to urbanized territories as separate locations of alien invasive species of biota. The results of the attributive analysis of the structure of the alien fraction of KUA flora according to three current European categories are presented. The basis of the analysis is the final list of alien vascular plants of KUA flora, which contains 718 species. 166 taxa of alien vascular plants that immigrated to KUA from 2003 to 2023 were added to the list. It was found that the degree of naturalization of immigrant species is dominated by casual alien species, which make up 59.0% of the taxonomic composition of the fraction. Species that are elements of man-make environments reach 35.5%. At the same time, alien species that grow and persist for a long time in natural habitats, including protected areas, do not exceed 5.0%. According to the categories of invasive activity, there are species that are naturalized and do not show a tendency to invasions — 32.0%. The most dangerous among invasive plants are transformer species, represented by 2.5%, actual invasive species — 4.0%, potentially invasive species — 2.0%. Based on the «Classification of alien species according to their impact on the environment», adapted by the IUCN: the massive impact is 1.5% of the total number and 4.0% of the number of naturalized ones; accordingly, the major impact — 2.2% (5.4%); the moderate impact — 5.2% (11.2%); the minor impact — 28.1% (68.6%); the minimal impact — 4.2% (10.8%). Based on the results of screening the negative effects of invasive species on the environment, examples of threats are given. This is competition for natural resources, displacement of native plant species; penetration into forests of plants whose climamorphotypes are absent in local forest ecosystems (tree vines), etc. Threatening cases of spontaneous hybridization of immigrant species with local species and with each other have been identified (repeated occurrences in the genera *Bidens* L., *Populus* L., *Reynoutria* Houtt., etc.). The need for an experimental study of the chemical and physical negative effects of invasive plants on local species of biota and human health is indicated. It is noted that the flora of KUA, on the background of the flora of Europe, is currently uniformly affected by phytoinvasions as an urbanized spatial unit of Ukraine.

K e y w o r d s: invasive ecology, agrophytes, epecophytes, colonophytes, ephemerophytes, transformer species, urbanized areas.

Bondarenko O., Nazarchuk Yu., Fairushin E. Species of plants cultivated in the botanical garden of Odesa I. Mechnykov National University (based on MSUD materials). Agroecological journal. 2024. No. 3. P. 62–71.

Odesa National Mechnykov University

e-mail: vseobovse123@gmail.com

The basis for primary monitoring studies of regional flora is the analysis of literary sources and herbarium materials. Areas where the primary concentration of new, introduced plants was carried out are often botanical gardens. The value of botanical gardens also lies in the fact that here, as a rule, comprehensive scientific work with new species is carried out. The purpose of the study is to identify and analyze specimens of plant species that are stored in historical (name) herbarium collections of MSUD and collected during the period of formation and development of the botanical garden at Odesa National University named after I.I. Mechnikov. Four herbarium collections we studied the Higher Women's Pedagogical Courses, Novorossiysk University, the collection of P.S. Shesterikov, E.E. Lindemann. A synopsis of the discovered species and forms of plants is given. The collectors are: Oleksandr Nordman (1 herbarium specimen), Mykola Zelenetskyi (39), Lidia Basarska (five), Petro Shesterikov (2), Ludvig Rishavi (12), Yakiv Valts (1). In total, 60 herbarium sheets of species and forms of plants from various collectors, mainly from the period of the middle of the 19th and the beginning of the 20th century, were found. They represent 45 species and forms from 16 families; another specimen identified only to genus. The largest number of species belong to the *Cupressaceae* family — 8 species and one genus. And also the *Pinaceae* family: 17 species and forms. The vast majority of detected species are trees or shrubs. Currently, 22 of the noted species can be found in Odesa. Moreover, 12 of them (54.55%) are found «alone» in a narrow range of ecotopes of the city, which are elements of general, limited, and special purpose plantations. 15 of them are still components of the territory of the ONU botanical garden — 68.18%; seven species (31.82%) occur «everywhere». Among the samples found are representatives of important groups of plant species. Yes, *Ginkgo biloba* L. is a rare plant from the list of sozophytes for the Odesa region, and has the category «exotic». Also, the species *Amorpha fruticosa* L. is a species with a high invasive capacity. In addition, it is a «transformer» that is «actively and massively represented in certain areas».

K e y w o r d s: introduced species of plants, botanical collections, Odesa.

Didenko V.[1], Kichigina O.[2], Postoienko D.[1], Kostikov I.[1,3] Alien species of nectar-bearing plants of Ukraine's flora. Agroecological journal. 2024. No. 3. P. 72–81.

[1] *National Scientific Center «P.I. Prokopovich Beekeeping Institute» NAAS*

[2] *Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

[3] *State Scientific Research Forensic Center of the MJA of Ukraine*

e-mail: seednlen@ukr.net

Alien species pose a significant threat to global biodiversity, competing with local species, gradually displacing them, and often leading to their demise. Alien plants, in particular, pose a direct threat to native plant diversity as well as the management of ecosystems, agriculture, and forestry. The main reason for the appearance of alien species in ecosystems where they are not native is human activity. Most alien plant species have become so due to introduction for cultivation purposes, thanks to their medicinal, honey-producing, and other beneficial properties for humans. Therefore, knowledge of their biology, potential for expansion, as well as possible monitoring and control methods, is extremely important. After all, obtaining the maximum benefit for meeting public needs without harming the environment is an urgent task today. Among alien species, invasive species are the most dangerous for the loss of biodiversity. However, currently in Ukraine, there are no officially approved lists of alien and invasive species, their inventory has not been conducted, monitoring and risk assessment systems are absent, and there are no adequate and coordinated measures to counteract biotic invasions. Therefore, the purpose of our work was to conduct an analysis of the flora of Ukraine, to identify alien, including invasive plants, are honey and/or pollen-producing, and compile their list. As a result of the analysis, 63 alien, including 16 invasive species of vascular plants with honey and pollen-producing properties were identified, belonging to 28 families and 56 genera. Particularly valuable invasive honey plants include: *Helianthus annuus* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Asclepias syriaca* L., *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Siebold & Zucc., *Solidago canadensis* L., which can provide significant industrial honey production. Considering that such invasive plants (which are also honey-producing) as *Cucurbita pepo* L., *Raphanus sativus* L., *Helianthus annuus* L., *Juglans nigra* L., *Prunus armeniaca* L. and *Vitis vinifera* L. are agricultural crops, their spread is usually limited to agricultural lands. Therefore, their invasions into natural ecosystems are minimal, and the benefits are undeniable. However, when cultivating alien plants, it is always worth considering the benefit and economic gain against their real or potential threat to natural ecosystems.

K e y w o r d s: biodiversity, phytoinvasion, nectar-bearing plant, pollen-bearing plant, beekeeping.

Vasiliev D., Ilienko T. Monitoring of agroecosystem desertification processes according to satellite data: experience and perspectives. Agroecological journal. 2024. No. 3. P. 82–93.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: tilienko@gmail.com

Desertification is a major environmental threat that affects the lives of millions of people around the world. In order to effectively prevent this effect in agro-ecosystems at local and regional levels, it is necessary to have accurate information about its spatial distribution. Remote sensing plays a crucial role in this process due to its cost-effectiveness, ability to cover large areas, and use of a variety of sensors and data analysis methods. The combination of GIS, mathematical models and ground observations allows for more accurate data on land degradation. The purpose of this study is to summarize the experience of both Ukrainian and foreign researchers in the use of remote sensing for monitoring and assessment of desertification and land degradation processes at the global and national levels, as well as to identify areas for further improvement of remote sensing methods for integrated monitoring of desertification in agroecosystems and land degradation. This article reviews the experience of using satellite remote sensing data, mathematical models of desertification, and geographic information systems to identify areas prone to degradation in different parts of the world. Special attention is paid to the adaptation of these models to local conditions using additional parameters. The article also highlights the achievements of Ukrainian scientists in the field of satellite monitoring of agricultural landscapes, their classification and assessment based on remote sensing data. Prospects for further research are outlined. The use of an integrated approach combining geographic information systems, satellite data, analysis of environmental indicators, and mathematical models of desertification adapted to regional characteristics proves to be effective. The main directions remain the adaptation of models to regional conditions, the development of forecasting methods using remote sensing data, and the expansion of international data and experience exchange. It is important to continue to improve remote monitoring methods for the early detection of degradation processes and to strengthen research at the national level for the implementation of appropriate measures.

K e y w o r d s: remote sensing, erosion, satellite data, GIS, soil indices, agricultural landscape.

Ilienko T., Sherstyuk D. Satellite monitoring of a pine forest affected by mountain pine beetle. Agroecological journal. 2024. No. 3. P. 94–106.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: tilienko@gmail.com

The spread of bark beetles poses a significant threat to forest ecosystems, causing substantial damage to coniferous forests. The mountain pine beetle (Dendroctonus spp.) is considered to be one of the most harmful bark beetles, infesting pine trees and leading to severe consequences for forest ecosystems. This article aims to detect and analyze the dynamics of mountain pine beetle infestation in a pine forest stand, determine its affected area, and evaluate the effectiveness of sanitary and restoration measures. The study utilized satellite data from the Sentinel-2 mission and employed the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Moisture Index (NDMI) to monitor the spread of mountain pine beetle infestation. The analysis was conducted for a pine forest stand in the Ostriv Forestry of the Vyshchedubechanske Forestry Enterprise in Kyiv Oblast, Ukraine. The results demonstrated the effectiveness of using satellite data and vegetation indices for monitoring mountain pine beetle infestation. The combined application of NDVI and NDMI enabled the detection of infested areas in the early stages by capturing changes in the spectral characteristics of tree crowns and vegetation moisture content. The satellite data analysis confirmed the complete infestation of a 0.01 km^2 pine forest stand by the mountain pine beetle in 2017. A link between the activation of beetle spread and climate changes, particularly rising temperatures and decreasing precipitation, was observed, leading to the weakening of pine stands. The study revealed that in 2018, sanitary felling of the infested pine stand was carried out, as evidenced by the decrease in NDVI values. In 2019, a project to restore the forest ecosystem through the establishment of a new pine plantation was initiated. Satellite observations in April 2024 demonstrated successful growth of the young pine forest, with NDVI values indicating an increase from 0.25 in April 2020 to 0.45 in April 2024, reflecting active vegetation growth and successful ecosystem restoration. The obtained results highlight the importance of using satellite data for timely detection of pest outbreaks in forest ecosystems, determining the extent of infestation, monitoring the effectiveness of sanitary measures, and assessing the recovery of forest stands after restoration efforts. The study underscores the potential of satellite remote sensing techniques in forest ecosystem monitoring and supports decision-making processes for sustainable forest management.

K e y w o r d s: tree mortality, vegetation index, moisture content, Sentinel-2, spectral characteristics, pests, sanitary and restoration measures.

Mudrak O.[1], Morozova T.[2] Cytogenetic monitoring of spontaneous mutagenesis. Agroecological journal. 2024. No. 3. P. 107–119.

[1] *Public Higher Educational Establishment «Vinnytsia Academy of Continuing Education»*

[2] *National Transport University*

e-mail: tetiana.morozova@ukr.net

Due to the challenging environmental situation in Ukraine, there is a need for cytogenetic monitoring, establishing cause-and-effect relationships, and assessing the toxic-mutagenic activity of environmental components. The results of such monitoring can serve as a basis for developing rehabilitation measures aimed at improving the environmental condition. Cytogenetic bioassay methods allow the evaluation of ecological and genetic risks to biota, considering the overall impact of pollutants, predicting changes in ecosystems, and making timely management decisions to improve environmental quality and preserve the nation's gene pool. The article provides cytogenetic monitoring of apical meristems of the roots of *Raphanus sativus* subsp. *radicula* (Pers.) DC. and *Allium cepa* L. seedlings., grown on soils of residential areas, and the effect of ions of some elements on the cytological parameters of *Pisum sativum* L. was studied. It was noted that the spectrum of mitosis abnormalities and chromosome aberrations was expanded due to lagging chromosomes and micronuclei. Residential areas with a consistently high level of spontaneous cytogenetic disorders require the development of a local monitoring system to identify genetic hazards. The research on the proliferative activity of apical meristem cells confirms the hypothesis of aluminum toxicity to plants. Cytotoxic effects are assessed at the micro- and macroscopic levels. Macroscopically, reduced root growth of bioindicator plants was observed, which may result from several possible mechanisms: cell death, inhibition of division, cell elongation, or nutrient absorption. It was found that the duration of the prophase is directly influenced by the mobile forms of Zn and Pb, while Cu has a reverse effect. According to the results of multiple regression analysis, the most significant influence on these processes is exerted by the mobile forms of Zn, Cu, and Pb in the surface layers of the soils of the studied residential areas. Under the influence of $AlCl_3$, the proportion of cells in the anaphase stage increases; $CdCl_2$ affects the prophase stage; Na_2SeO_3 affects the meta- and anaphase stages; X-ray irradiation affects the telophase stage. Regarding the ability to induce the frequency of aberrant anaphases, a ranking can be constructed: Na_2SeO_3 ($3.75 \cdot 10^{-6}$ M) > $AlCl_3$ ($3.86 \cdot 10^{-5}$ M) > $CdCl_2$ ($8.44 \cdot 10^{-5}$ M). A radiation dose of $9.03 \cdot 10^{-3}$ C/kg leads to the frequency of chromosomal aberrations, similar to the effects of $AlCl_3$ ($3.86 \cdot 10^{-4}$ M) and Na_2SeO_3 ($8.34 \cdot 10^{-6}$ M). High concentrations of aluminum are associated with an increase in anaphases with fragments and two to three bridges.

K e y w o r d s: disorders, mitotic activity, mutagenic activity, apical meristem, mitotic index.

Levishko A., Gumeniuk I. Microbial preparations for controlling the number of pests (phytophages): mechanisms of action and benefits of use. Agroecological journal. 2024. No. 3. P. 120–133.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: alodua2@gmail.com

The article demonstrates environmentally safe and effective ways to control insect pests with the help of biological products. The main representatives of biological products producers, their mechanisms of action on pests, as well as advantages and features of their application are described. The mechanism of action of preparations based on *Bacillus thuringiensis* is explained in detail and the issue of using this microorganism to create resistant GM crops is touched upon. The details of the mechanism of action of entomopathogenic fungi on insect pests and the scheme of infection, reproduction and their distribution are demonstrated. It is noted that entomopathogenic viruses are the most specific among all entomopathogenic microorganisms. They are characterized by extreme selectivity of pathogenic action, i.e. the ability to infect one or more arthropod species without harming others. This feature is a guarantee of safety for non-target organisms, but despite their success in pest control, their difficulty in mass production and easy degradation in the environment makes them less popular among farmers. The main producers of biological products, their mechanisms of action on pests, as well as their advantages and peculiarities in application are described. The importance of integrating different methods of pest control and combining different biological products to obtain maximum yields in environmentally friendly plant cultivation is shown.

K e y w o r d s: biological preparations, pesticides, bioinsecticides, entamopathogens, *Bacillus thuringiensis*, *Streptomyces avermitilis*, *Beauveria*, *Metarhizium*, integrated plant protection.

Broshchak I.[1], Mandryko M.[2], Orynyk B.[3], Brovko O.[3], Huivan M.[4] Influence of «ORGANIC MAX» organic fertilizer on soil condition in Zakarpattia. Agroecological journal. 2024. No. 3. P. 134–140.

[1] *Ternopil Ivan Puluy National Technical University*

[2] *TOV «Lihnit+»*

[3] *Ternopil Branch of State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine»*

[4] *Entrepreneur*

e-mail: investagroprod@ukr.net

With a shortage of traditional organic fertilizers and a constant increase in the cost of mineral fertilizers, it is important to find alternative environmentally friendly sources of nutrients. The effectiveness of the new organic fertilizer «Organic MAX», made on the basis of lignite (brown coal) and chicken droppings in the conditions of Zakarpattia region, which provides positive changes in the agrochemical criteria of the soil, has been proposed and studied. Under the influence of bird droppings, the humic substances of lignite go into a physiologically active state and effectively act as plant growth stimulants and sources of nutrients. According to the results of field studies, there is an increase in the effectiveness of this fertilizer with an increase in the content of animal waste: «Organic MAX–20» (lignite + 20% chicken droppings) and «Organic MAX–30» (lignite + 30% chicken droppings). It was found that the application of this fertilizer at a rate of 1 t/ha provided an increase in the content of organic soil matter (humus) by 0.05% for pure lignite, by 0.19% for Organic MAX–20 and by 0.66% for Organic MAX–30. There was also an increase in the content of nutrients: easily hydrolyzed nitrogen by 14.1–55.9 mg/kg; mobile phosphorus compounds at 64.5–109.3 mg/kg; mobile potassium compounds at 64.9–125.5 mg/kg. The effective effect of the fertilizers applied for the next year was revealed despite the high level of nutrient removal by a crop such as corn. The humic component is a nutrient medium for soil bacteria. The active work of microorganisms is the main link in the process of humus formation. After fertilization, there is an improvement in the water-physical properties of the soil, an increase in microbiological activity, as well as a decrease in the negative impact of adverse factors on the development of plants. On acidic soils, first of all, liming must be carried out before fertilizing. The type of this fertilizer is chosen for a specific crop after conducting agrochemical analyzes of the soil. The most effective application of these fertilizers on low-humus low-fertile soils, as well as non-structural ones, since they contribute to the optimization of soil properties. Its use is economically and environmentally feasible. It is possible to recommend environmentally friendly organic fertilizer «Organic MAX» for use in organic farming, the popularity of which in Ukraine is growing every year, to resume soil fertility.

K e y w o r d s: lignite, chicken droppings, nutrients, waste, soil fertility, environmentally friendly fertilizer.

Mazur S.[1], Buhtik S.[1], Shatsman D.[2] Impact of mycorrhizal inoculants on soil microbiome during sunflower (*Helianthus* L.) cultivation. Agroecological journal. 2024. No. 3. P. 141–155.

[1] *Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

[2] *LLC «Eurosam»*

e-mail: mazurlanalana@gmail.com

The article examines the results of a study on the impact of the biological preparation Mikovital, based on mycorrhizal fungi, on sunflower cultivation. The study revealed a positive effect of the preparation on

the growth, development, and productivity of the plants. The application of Mikovital led to a statistically significant increase in sunflower yield from 2.31 t/ha (control) to 2.90 t/ha. Additionally, improvements were observed in the quality parameters of the seeds, including 1000-seed weight and oil content. The preparation influenced the increase in the area of active roots, which facilitated better water and nutrient absorption. During the budding phase, the area of active roots increased by 5.2 cm^2, and during the flowering phase, it increased by 4.9 cm^2. The increase in leaf area during the appearance of the 2nd trifoliate leaf by 0.5 dm^2, in the budding phase by 1.5 dm^2, and in the flowering phase by 2.1 dm^2 contributed to improved photosynthetic activity and overall plant productivity. Moreover, the study noted an increase in the number of beneficial microorganisms in the soil, such as ammonifying bacteria and actinomycetes, as well as the emergence of new species of micromycetes, including *Trichoderma* and *Glomus*. This positively affected biodiversity, improved nutrient synthesis, and provided better nutrient supply to the plants. The enhanced microbial activity in the soil contributed to the overall health and resilience of the sunflower plants, ensuring their stability under stress conditions. Overall, the application of Mikovital proved to be effective in enhancing sunflower growth, development, and yield. It not only optimized the soil microbiome but also improved plant stability under adverse conditions, making it a valuable tool in sustainable agriculture. The study underscores the potential of biological preparations in reducing dependency on chemical inputs while maintaining high productivity and quality in sunflower cultivation.

K e y w o r d s: Mycorrhization, heterotrophic plant nutrition, microbiome, agroecosystem, microorganisms, agrotechnologies, oilseeds.

Bolokhovskyi V.[1], Borodai V.[2,3], Kosovska N.[1,2], Bolokhovska V.[1], Nagorna O.[1], Yakovenko D.[1,3], Kuzmych V.[1] Effect of Groundfix and Ecostern biological preparations on soil microbiota under soybean (*Glycine max* L.) cultivation. Agroecological journal. 2024. No. 3. P. 156–163.

[1] *TD BTU LLC*

[2] *Institute of Agroecology and Nature Management of NAAS*

[3] *National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine*

e-mail: kosovska.na@gmail.com

In recent years, the system of farming using biologisation elements has become increasingly popular as an effective tool in agricultural production. By introducing agronomically useful microbiota into the soil, whose living cells are part of biological products (including biodestructors and biofertilisers), many valuable processes are triggered: restorative changes in the soil ecosystem by expanding microbial cenosis, improving its phytosanitary condition, protecting future crops of crop rotation from the allopathic effects of predecessors, increasing the availability of nutrients in the soil and improving its structure, as well as increasing yields and improving the quality of agricultural products. The aim of the research was to determine the effect of biological products based on bacteria of the genera: *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Enterococcus*, *Agrobacterium* and fungi of the genus *Trichoderma* on the main ecological and trophic groups of soil microorganisms during the cultivation of soybean plants. The study was conducted using laboratory and vegetation methods of research in the conditions of the Institute of Applied Biotechnology LLC. Soybean seeds of Kent variety (SAATBAULINZ, Austria) were treated with biological products produced by BTU: biofertiliser Groundfix® (*Bacillus subtilis*, *B. megaterium* var. *phosphaticum*, *Azotobacter chroococcum*, *Enterobacter* sp, cell titer $0.5–1.5 \cdot 10^9$ CFU/cm^3), biodestructor Ecostern® Classic (*Bacillus*, *Paenibacillus*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Enterococcus*, *Agrobacterium* and fungi of the genus *Trichoderma* — cell titer not less than $2.5–5.0 \cdot 10^9$ CFU/cm^3) according to the recommended doses. The effectiveness of biological products Groundfix and Ecostern Classic in the formation of ecological and trophic groups of soil rhizosphere microorganisms for the cultivation of soybean plants of Kent variety is highlighted. DSTU 7847:2015 was used to determine soil microorganisms and their associations. The coefficients of soil mineralisation, oligotrophicity and pedotrophicity were calculated by the ratio of the corresponding ecological and trophic groups. It was found that under the action of biological products Ecostern Classic and Groundfix in the rhizosphere of soybean plants, the number of ammonifiers increased by 1.8–2.1 times, oligonitrophilic bacteria (including bacteria of the genus *Azotobacter*) — by 14.3–33.3%, oligotrophs — by 54–57% compared to the control variant. The number of pedotrophs in soybean plants grown with the addition of Ecostern Classic biological product was $1.6 \cdot 10^5$ CFU/g soil, which is 1.5 times lower than in the control. The highest values of pedotrophs were determined for the soil in the variant with Kent soybean grown under the influence of the biological product Groundfix, which is 4% higher compared to the control. Under the influence of biological products Ecostern Classic and Groundfix, the number of microorganisms that use mineral forms of nitrogen decreased by 2.3–8 times, respectively, compared to the control. According to the values of the coefficients of oligotrophicity, nitrogen mineralisation and immobilisation, and pedotrophicity, the direction of soil biological processes was characterised. The coefficient of oligotrophicity in the studied soil samples under the influence of biological products was 0.28–0.35, which indicates a high supply of nutrients to the soil microbiome. Soil variants, when growing soybean plants in the presence of biological products, had a lower pedotro-

phicity coefficient. Thus, when soybean plants were grown under the influence of the biological product Groundfix (0.54), the value of the pedotrophicity coefficient was 2 times lower compared to the control (1.09), while under the influence of Ecostern (0.4) it was 2.7 times lower compared to the control. This indicates the accumulation of stable organic compounds and humus formation. The soil under the influence of the studied biological products is characterized by a sufficient amount of available nitrogen, high supply of soil microbiome with nutrients, accumulation of stable organic compounds and stable humus formation. The use of biological products Groundfix and Ecostern Classic improves microbial biodiversity and soil microbiota activity during soybean cultivation, increases the number of specific microbial taxa involved in the suppression of phytopathogenic microorganisms in the soil, promotes nutrient cycling and soil structure formation.

K e y w o r d s: microbial preparations, ecological and trophic groups of bacteria, microbiological activity of soil.

Buslayeva N., Golodna A., Hrytsiuk Ya. Forecasting profitability levels for different soybean (*Glycine max* L.) cultivation technology options. Agroecological journal. 2024. No. 3. P. 164–172.

National Scientific Center «Institute of Agriculture of NAAS»

e-mail: ant.golodna@gmail.com

Objective of the research is to develop adequate models for forecasting the profitability of soybean seed cultivation under various technology options; to identify significant factors affecting financial performance to support effective management decisions. Methods. The use of regression analysis tools enabled the construction of stepwise models of profitability dependence on economic indicators with high coefficients of determination. Results. The dependence of economic efficiency indicators on soybean seed yield under various cultivation technology options has been determined. The research results indicate that the most effective cultivation technology was the one that combined the use of fertilizers at a dose of $N_{15}P_{45}K_{60}+N_{30}$ kg/ha of active ingredient, presowing seed treatment (mycorrhizal inoculant + fungicide), and foliar feeding with organo-mineral fertilizer during the budding phase, which led to the highest seed yield in the experiment, at 3.74 t/ha. Based on the conducted correlation-regression analysis and the developed mathematical models, the connection between profitability levels and the total cost of the harvest and the cost of soybean seeds was proven, both for seed treatment alone and for seed treatment combined with foliar feeding during the critical growth phases. Conclusions. The correlation-regression analysis results showed that the total cost of the harvest and the cost of soybean seeds have the most significant impact on profitability. This is confirmed by the coefficients of determination, indicating that 98.2–99.8% of the total variability in profitability is due to the combined effect of the studied variables. Based on this, models were developed to describe the dependence of profitability levels on the total cost of the harvest and the cost of soybean seeds, both for seed treatment alone (mycorrhizal inoculant + fungicide) and with additional foliar feeding during critical growth and development phases.

K e y w o r d s: cultivation technology, fertilization, seed treatment, foliar fertilization, productivity, elasticity coefficient, full harvest cost, seed cost, economic efficiency.

Senchuk T.[1], Zhukorskyi O.[2] Influence of temperature conditions of the environment on the dynamics of collecting bee pollen and flower pollen by honey bees. Agroecological journal. 2024. No. 3. P. 173–182.

[1] *Institute of Agroecology and Nature Management of NAAS*

[2] *Institute of Animal Breeding and Genetics nd. a. M.V. Zubets of NAAS*

e-mail: senchuktanya.bee@gmail.com

The study conducted at the apiary of the National Scientific Center «P.I. Prokopovych Institute of Beekeeping» in Hadiach, Poltava region, from 2021 to 2023 investigates the dynamics of bee pollen collecting by honey bees of the Ukrainian steppe breed of the Hadiach type. This research focuses on understanding how weather conditions in the forest-steppe zone impact the mass, volume, and size of bee pollen, as well as the botanical composition of the collected pollen. The primary objective of this research is to analyze how different weather conditions influence the collection of bee pollen by honey bees. Specifically, the study aims to assess how variations in temperature, humidity, and other weather factors affect the quantity and quality of pollen collected, and how these factors interact with the flowering periods of key nectar plants. The study utilized hanging pollen collectors to gather pollen from bee colonies between 8 AM and 2 PM. The botanical origin of the pollen was determined through microscopic analysis and international palynological databases. The research focused on several common nectar plants, including red clover (*Trifolium pratense*), common primrose (*Primula vulgaris*), cornflower (*Centaurea cyanus*), common agrimony (*Agrimonia eupatoria*), field thistle (*Cirsium arvense*), and common burdock (*Carduus acanthoides*). Weather conditions were classified into favorable (temperatures of 18–25°C and relative humidity of 57–72%) and unfavorable (cloudy days with northern winds, temperatures below 15°C or above 28°C, and humidity levels outside the 57–72% range). The research revealed that the average mass of bee pollen collected per season varied between 6.3 and 6.6 kg per bee colony. The study found that different plants responded differently to weather condi-

tions. For instance, the mass of pollen from red clover ranged from 8.3 to 12.0 mg under favorable conditions, while field thistle showed a decrease in pollen mass during unfavorable conditions. Pollen collection began in mid-April and continued until mid-August. During unfavorable weather conditions, there was a noticeable reduction in pollen mass, which was attributed to lower pollen availability. However, some plants showed better pollen production under adverse conditions. The spring peak in pollen collection, associated with active colony growth, was also influenced by the less diverse summer flora. Temperature data for 2021–2023 indicated that the most favorable conditions for pollen collection varied annually. For example, the cool spring of 2021 delayed bee colony development, while 2022 experienced normal weather conditions. In contrast, 2023 saw active pollen collection during acacia blooming but a reduction during lime blooming due to insufficient pollen. The study underscores the importance of considering a comprehensive range of weather conditions when evaluating bee colony productivity. The findings highlight that both temperature and humidity significantly impact pollen collection. The results suggest that beekeepers need to account for these variables in their management practices to optimize pollen collection. Further research should explore the interactions between different weather factors and their combined effects on bee foraging behavior and pollen production. Additionally, studies could investigate how changes in climate over longer periods affect bee colony performance and pollen dynamics, providing insights for developing adaptive strategies in beekeeping.

K e y w o r d s: weather and climate conditions, ecological beekeeping, perga, pollen collection, temperature of the natural environment.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

АНТОНЮК Юрій Петрович, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: yuraantoniuk22@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0006-3257-0843)

БОЛОХОВСЬКА Валентина Антонівна, кандидат технічних наук, БТУ-ЦЕНТР, м. Ладижин, Вінницька обл., Україна (e-mail: valent2006@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0005-2728-4589)

БОЛОХОВСЬКИЙ Владислав Вікторович, БТУ-ЦЕНТР, м. Ладижин, Вінницька обл., Україна (e-mail: vlad@btu-center.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0007-0074-6362)

БОНДАРЕНКО Олена Юріївна, кандидат біологічних наук, доцент, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, м. Одеса, Україна (e-mail: vseobovse123@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2383-6615)

БОРОДАЙ Віра Віталіївна, доктор сільськогосподарських наук, доцент Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна (e-mail: veraboro@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8787-8646)

БРОВКО Олександра Зіновіївна, Тернопільська філія державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», м. Тернопіль, Україна (e-mail: terno_rod@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9457-0896)

БРОЩАК Іван Станіславович, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, академік Інженерної академії України, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна (e-mail: univ@tntu.edu.ua; ORCID: https://orcid.org/0009-0002-9852-3514)

БУДЖАК Василь Васильович, доктор біологічних наук, доцент, Державна установа «Інститут еволюційної екології НАН України», м. Київ, Україна (e-mail: budzhakv@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7754-6437)

БУРДА Раїса Іванівна, доктор біологічних наук, професор, Державна установа «Інститут еволюційної екології НАН України», м. Київ, Україна (e-mail: riburda@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7440-9218)

БУСЛАЄВА Наталія Григорівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, ННЦ «ІЗ НААН», с-ще Чабани, Фастівський р-н, Київська обл., Україна (e-mail: nataliyabuslaeva@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4956-7801)

БУХТИК Сергій Сергійович, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: s.buhtik@profi.land; ORCID: https://orcid.org/0009-0000-2543-7346)

ВАСІЛЬЄВ Дмитро Петрович, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: freimaster.af@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0005-0578-3539)

ГЕРАСІМОВА Олена Володимирівна, кандидат педагогічних наук, доцент, КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти», м. Вінниця, Україна (e-mail: gerasimovaalena79@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0000-2993-2723)

ГОЛОДНА Антоніна Василівна, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, ННЦ «ІЗ НААН», с-ще Чабани, Фастівський р-н, Київська обл., Україна (e-mail: ant.golodna@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7775-8229)

ГРИЦЮК Ярослав Васильович, ННЦ «ІЗ НААН», с-ще Чабани, Фастівський р-н, Київська обл., Україна (e-mail: hrytsiuk.yaroslav@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0007-9301-6990)

ГУЙВАН Микола Дмитрович, фізична особа-підприємець, с. Добрівляни, Чортківський р-н, Тернопільська обл., Україна (e-mail: Guivan_co@ukr.net)

ГУМЕНЮК Ірина Ігорівна, кандидат біологічних наук, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: gumenyuk.ir@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/000-0002-6692-0171)

ДІДЕНКО Віталія Іванівна, доктор філософії, Національний науковий центр «Інститут бджільництва імені П.І. Прокоповича» НААН, м. Київ, Україна (e-mail: vitaliiadidenko14@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5947-2307)

ДІХТЯР Ірина Олександрівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Український інститут експертизи сортів рослин, м. Київ, Україна (e-mail: irs2006@ukr.net;

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7736-6121)

ДРЕБОТ Оксана Іванівна, доктор економічних наук, професор, академік НААН, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: drebotoksana@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000- 0003-2681-1074)

ЖУКОРСЬКИЙ Остап Мирославович, доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН, Інститут розведення і генетики тварин імені М.В. Зубця НААН, с. Чубинське, Бориспільський р-н, Київська обл., Україна (e-mail: o_zhukorskiy@ukr.net, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5381-8517)

ІЛЬЄНКО Тетяна Володимирівна, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: tilienko@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5406-5449)

КІЧІГІНА Ольга Олександрівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: seednlen@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0879-627X)

КОМАРОВА Наталія Вікторівна, доктор філософії, Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Київська обл., Україна (e-mail: komarova_nv@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9347-455X)

КОНЯКІН Сергій Миколайович, кандидат географічних наук, Державна установа «Інститут еволюційної екології НАН України», м. Київ, Україна (e-mail: ser681@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6715-5707)

КОСОВСЬКА Надія Анатоліївна, доктор філософії, ТОВ «Інститут прикладної біотехнології», м. Київ, Україна (e-mail: kosovska.na@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8881-847X)

КОСТІКОВ Ігор Юрійович, доктор біологічних наук, професор, Національний науковий центр «Інститут бджільництва імені П.І. Прокоповича» НААН, м. Київ, Україна; Державний науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України, м. Київ, Україна (e-mail: avern25@i.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6071-7105)

КУЗЬМИЧ Вікторія Іванівна, БТУ-ЦЕНТР, м. Ладижин, Вінницька обл., Україна (e-mail: kuzmich.v@btu-center.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0007-1894-5634)

ЛЕВІШКО Алла Сергіївна, кандидат біологічних наук, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: alodua2@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4037-1730)

МАЗУР Світлана Олександрівна, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут агроекології і природокористування НААН м. Київ, Україна (e-mail: mazurlanalana@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5025-0134)

МАНДРИКО Максим Володимирович, ТОВ «Лігніт+», с. Ільниця, Хустський р-н, Закарпатська обл., Україна (e-mail: tzovlignitplus@ukr.net)

МОРОЗОВА Тетяна Василівна, кандидат біологічних наук, доцент, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна (e-mail: tetiana.morozova@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4836-1035)

МУДРАК Галина Василівна, кандидат географічних наук, доцент, Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна (e-mail: galina170971@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1319-9189)

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)

НАГОРНА Ольга Володимирівна, БТУ-ЦЕНТР, м. Ладижин, Вінницька обл., Україна (e-mail: olganova2008@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0009-0001-6628-9383)

НАЗАРЧУК Юлія Сергіївна, кандидат біологічних наук, доцент, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, м. Одеса, Україна (e-mail: bio_july@hotmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7046-958X)

ОРИНИК Богдан Іванович, Тернопільська філія державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», м. Тернопіль, Україна (e-mail: terno_rod@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9457-0896)

ПАЛАПА Надія Василівна, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут агроекології і природокористування НААН України, м. Київ, Україна (e-mail: palapa60@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3748-6414)

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)

ПОСТОЄНКО Дмитро Миколайович, кандидат сільськогосподарських наук, Національний науковий центр «Інститут бджільництва імені П.І. Прокоповича» НААН, м. Київ, Україна (e-mail: dmytroiap@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8551-5809)

ПРЯДКА Тетяна Миколаївна, кандидат економічних наук, доцент Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Київська обл., Україна (e-mail: 1435351@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6179-0128)

РЯБОКОНЬ Ольга Володимирівна, кандидат географічних наук, доцент, КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти» м. Вінниця, Україна (e-mail: olya_riabokon1986@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4733-3067)

СЕМЕНІВ Владислав Степанович, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна (e-mail: vlad.semeniv99@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0005-2487-6183)

СЕНЧУК Тетяна Юріївна, Інститут агроекології і природокористування; Національний науковий центр «Інститут бджільництва імені П.І. Прокоповича» НААН, м. Київ, Україна (e-mail: senchuktanya.bee@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5272-8947)

ФАЙРУШИН Євгеній Дімович, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, м. Одеса, Україна (e-mail: fairushinev94@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0007-1744-6569)

ШАЦМАН Дмитро Олександрович, кандидат сільськогосподарських наук, ТОВ «Євросем», м. Київ, Україна (e-mail: ds@profi.land; ORCID: https://orcid.org/0009-0000-1645-2499)

ШЕРСТЮК Денис Михайлович, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: volaf666@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0001-1687-5974)

ЯКОВЕНКО Дмитро Олексійович, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ; БТУ-ЦЕНТР, м. Ладижин, Вінницька обл., Україна (e-mail: d.yakovenko@btu-center.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0008-8239-7684)

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

Редакція **«Агроекологічного журналу»** приймає до розгляду оригінальні статті, підготовлені на високому науковому рівні, що мають важливе теоретичне, практичне значення та висвітлення результатів наукових досліджень вітчизняних та зарубіжних авторів. У журналі публікуються закінчені експериментальні і дослідні роботи, а також оглядові статті, які раніше не були надруковані за наступними напрямками: актуальні проблеми екології, аграрні науки і продовольство, біологічні науки, економічні науки, лісове господарство, технологія виробництва та переробки продукції тваринництва.

Кожна стаття обов'язково проходить перевірку на плагіат та анонімне рецензування провідними фахівцями з відповідного наукового напряму. За висновком рецензента стаття може бути рекомендована до друку чи відхилена або повернена для доопрацювання.

Подані статті мають бути структуровані відповідно до вимог ВАК України щодо наукових статей (Постанова Президії ВАК України від 15.01.2003 р. № 7-05/1), зокрема:

- постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
- аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання визначеної проблеми, і на які спирається автор;
- виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття;
- викладення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
- висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

Статті подають українською або англійською мовами. До статті додають анотації українською та англійською мовами обсягом 200–250 слів (1800–2000 знаків), ключові слова (5–10), що не дублюють назву, а також відомості про авторів (прізвища, ініціали, місце їх роботи/навчання).

Публікації англійською мовою приймаються тільки за умови їх професійного перекладу. За подачі англійського варіанту, перекладеного з допомогою інтернет-перекладачів (напр., Google), матеріали будуть відхилені.

До розгляду приймаються наукові статті обсягом від 10 до 20 сторінок, включаючи всі матеріали (анотації, таблиці, рисунки та бібліографічні списки).

У тексті статті мають бути виділені розділи «ВСТУП», «АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ» «МАТЕРІЛИ 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 абревіатура, подавати її в дужках при першому згадуванні. Автори мають дотримуватися правильної галузевої термінології (див. ДСТУ, СОУ), терміни мають бути уніфікованими.

Викладення результатів досліджень має заключатись не в переказі змісту таблиць і рисунків, а у визначенні закономірностей, що з них випливають. В обговоренні результатів слід показати причинно-наслідкові зв'язки між одержаними ефектами, порівняти одержані дані та показати їх новизну. Повторення одних і тих самих даних у тексті, таблицях, графіках неприпустимо.

Література (до 20 джерел) мовою оригіналу оформлюється згідно із ДСТУ 8302: 2015. На кожне джерело в списку літератури повинно бути хоча б одне посилання

в тексті, яке слід вказувати у квадратних дужках із послідовною нумерацією.

Редакція рекомендує уникати посилання на роботи 10-річної давнини і більше. Посилання на власні роботи авторів статті допускається, однак не більше 10% від загальної кількості джерел.

References здійснюється відповідно до стандарту APA (American Psychological Association).

Макет сторінки. Для оригінал-макета використовується формат паперу — А4, орієнтація — книжкова, поля з усіх сторін — 20 мм.

Гарнітури, розміри шрифтів та начертання: для заголовку статті та розділів: Times New Roman — 14 пт, напівжирний, прописні, великі літери; для УДК, основного тексту, анотацій, відомостей про авторів, підписів до рисунків та назв таблиць, літератури, references: Times New Roman — 14 пт; міжрядковий інтервал — 1,5; абзац — 1,25 см.

Типографські погодження та стилі. По центру у першому рядку сторінки вирівнюється тематична рубрика, до якої автор подав свою публікацію. Надалі індекс УДК набирається і вирівнюється за лівим краєм. Заголовок статті набирається в наступному за УДК рядку і вирівнюється посередині. Потім вказують: прізвища, ініціали авторів (ліміт — п'ять осіб), нижче — місце роботи/навчання, адреса електронної пошти, код ORCID автора (курсивом). Якщо автори з різних установ, після прізвища авторів та назв установ, у яких працюють/навчаються автори, слід проставити один і той самий верхній цифровий індекс. Далі розташовують анотацію та ключові слова мовою оригіналу статті (курсив); текст статті; відомості про авторів.

Таблиці мають бути виконані в Microsoft Office Word; **формули** — у редакторі формул MS Equaition; **графіки** — у Microsoft Office Excel, **фотографії** — у форматі .jpg, .tif або надавати оригінали. Також всі рисунки (графіки) додатково надсилаються на окремому аркуші — у Microsoft Office Excel.

Відповідальність за зміст статті несе автор. Рукописів редакція не повертає.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

ІНСТИТУТ АГРОЕКОЛОГІЇ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ НААН

вул. Метрологічна, 12, Київ-143, 03143.

Довідки за тел. (044) 522-60-62;

e-mail: agroecojournal@ukr.net