

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

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ



3 • 2025

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

3 • 2025



КИЇВ • 2025

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)

VYSOCHANSKA M.,

*Doctor of Economic Sciences,
Senior Researcher (Ukraine)*

VOVK N.,

Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)

GONCHARENKO I.,

Doctor of Biological 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)

LISOVYY M.,

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,
Prof. (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)

STAVETSKA R.,

Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)

TARARIKO O.,

*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,
Academician of NAAS (Ukraine)*

TERTYCHNA O.,

*Doctor of Biological Sciences,
Prof. (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)*

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)

НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

3 • 2025

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)

ВИСОЧАНСЬКА М.Я.,

д-р екон. наук, ст. досл. (Київ)

ВОВК Н.І.,

д-р с.-г. наук, проф. (Київ)

ГОНЧАРЕНКО І.В.,

д-р біол. 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)

КОНИЩУК 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, проф. (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)

СТАВЕЦЬКА Р.В.,

д-р с.-г. наук, проф. (Біла Церква)

ТАРАРІКО О.Г.,

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

ТЕРТИЧНА О.В.,

д-р біол. наук, проф. (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)

ЮХНОВСЬКИЙ В.Ю.,

д-р с.-г. наук, проф. (Київ)

ВАЛАТ В.,

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

ДУРСУН С.,

д-р філософії, проф. (Туреччина)

КОВАЛЬСЬКА А.,

д-р інж.-техн. наук, доцент

(Республіка Польща)

КОЕЛЬО ПІНЕЙРО М.,

д-р філософії, проф. (Португалія)

СОБЧИК В.,

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

ЙОШІХІКО ОКАБЕ,

д-р екон. наук, проф. (Японія)

Дребот О.І., Король О.В.

Трансформація ландшафтів в умовах військових конфліктів

Левандовська С.М., Рик Т.М., Ключка С.І.

Вплив змін клімату на популяції мисливських тварин

Наконечний І.В., Грушина О.Г., Миропольський І.І.

Екологічні характеристики та екосистемні послуги озера Сомитське (НПП «Пуца Радзивіла» Рівненська обл.)

Підліснюк В.В., Стефановська Т.Р., Янсе Л.А., Медков А.І.

Біоенергетичний, екологічний та агрономічний потенціал *Miscanthus* × *giganteus* Greef et Deu у контексті сталого землекористування

Височанська М.Я., Гурін О.Г.

Деструктивні чинники та перешкоди у процесах структуризації й формування механізму енергоефективності агросектору

Ільєнко Т.В., Шерстюк Д.М.

Індикатори кліматичних змін за даними супутникового моніторингу

Сергійчук Н.М., Коломієць Ю.В.

Сучасні підходи до підвищення біосинтетичного потенціалу *Streptomyces avermitilis*

Стародуб В.І., Ткач Є.Д.

Екологічна оцінка технологій вирощування сільськогосподарських культур за комплексом фітосанітарних показників

Морозова Т.В., Мудрак О.В., Мудрак Г.В.

Оцінка алелопатичних та фітотоксичних ефектів рослинних решток *Ambrosia artemisiifolia* L. на проростання насіння основних сільськогосподарських культур

Лішук А.М., Парфенюк А.І., Карачинська Н.В.

Інтенсивність споруляції фітопатогенних мікроміцетів на насінні зернових культур як індикатор екологічного ризику в агроценозах

6 Drebot O., Korol O.

Transformation of landscapes in the conditions of military conflicts

13 Levandovska S., Ryk T., Kliuchka S.

Impact of climate change on game populations

20 Nakonechnyi I., Grushyna O., Myropolskyi I.

Ecological characteristics and ecosystem services of lake Somytske (NNP «Puscha Radzyvila», Rivne Region)

32 Pidlisnyuk V., Stefanovska T., Janse L., Medkov A.

Bioenergetic, ecological and agronomic value of *Miscanthus* × *giganteus* Greef et Deu in sustainable land use

41 Vysochanska M., Hurin O.

Adverse factors and barriers to the development and structuring of the energy efficiency mechanism in the agricultural sector

51 Iliencko T., Sherstyuk D.

Climate change indicators based on satellite monitoring data

67 Serhiichuk N., Kolomiets Y.

Modern approaches to enhancing the biosynthetic potential of *Streptomyces avermitilis*

73 Starodub V., Tkach E.

Ecological assessment of technologies for growing agricultural crops based on a complex of phytosanitary indicators

84 Morozova T., Mudrak O., Mudrak G.

Assessment of the allelopathic and phytotoxic effects of *Ambrosia artemisiifolia* L. residues on seed germination of key agricultural crops

99 Lishchuk A., Parfeniuk A., Karachynska N.

Intensity of sporulation of phytopathogenic micromycetes on cereal seeds as an indicator of ecological risk in agroecosystems

**Гаврилюк Л.В., Гентош Д.Т.,
Башта О.В.**

Наукові дослідження ефірних олій та їх компонентів для практичного застосування в медицині

**Гунчак М.В., Пасічник В.І.,
Маменко П.М., Колодяжний О.Ю.**

Екологічна та економічна ефективність застосування мікробних препаратів для захисту яблуні проти попелиць

**Паламарчук Р.П., Городиська І.М.,
Безноска І.В.**

Вплив норм удобрення на агроекологічний стан дерново-підзолистого ґрунту під культурами 5-пільної сівозміни

Тимошенко О.М.

Вплив ширини міжряддя та різних доз азотних добрив на ріст і розвиток шавлії лікарської (*Salvia officinalis* L.)

**Купріянова Т.М., Макаrchук Н.В.,
Мирончук В.М.**

Оптимізація складу живильного середовища для вирощування картоплі *in vitro*

**Овчарук В.І., Овчарук О.В.,
Євстафієва Ю.М., Бабій М.В.**

Врожайність і якість коренеплодів буряків кормових залежно від сорту в умовах Правобережного Лісостепу України

**Коніщук В.В., Мартиненко В.В.,
Душко П.М., Терновий Ю.В.,
Кравчук Ю.А.**

Фітоекологічна характеристика полезахисних насаджень Центрального Лісостепу України

**Паламарчук Р.П., Грищенко О.М.,
Гульванський І.М., Брегеда С.Г.,
Циганов І.В.**

Оцінка забезпеченості ґрунтів України рухомими формами цинку

110 **Havryliuk L., Gentosh D.,
Bashta O.**

Scientific research on essential oils and their components for practical application in medicine

118 **Hunchak M., Pasichnyak V.,
Mamenko P., Kolodyazhny O.**

Ecology and economic efficiency of applying microbial preparations for protection of apple tree against aphids

126 **Palamarchuk R., Horodyska I.,
Beznosko I.**

Influence of fertilizer rate on the agroecological condition of sod-podzol soil under 5-pillar crop rotation crops

135 **Tymoshenko O.**

Effect of row spacing and different rates of nitrogen fertilizers on the growth and development of common sage (*Salvia officinalis* L.)

146 **Kupriyanova T., Makarchuk N.,
Myronchuk V.**

Optimization of nutrient medium composition for growing potatoes *in vitro*

153 **Ovcharuk V., Ovcharuk O.,
Ievstafieva I., Babii M.**

Yield and quality of fodder beet roots depending on the variety in the conditions of the right-bank forest-step of Ukraine

159 **Konishchuk V., Martynenko V.,
Dushko P., Ternovyi Yu.,
Kravchuk Yu.**

Phytoecological characteristics of field protective plantings of the central forest-step of Ukraine

170 **Palamarchuk R., Hryshchenko O.,
Hulvanskyi I., Breheda S.,
Tsyhanov I.**

Evaluation of supplying Ukrainian soils with mobile zinc forms

Реферати 178 **Abstract**

Відомості про авторів 189 **Information about the authors**

Правила для авторів 192 **Rules for the authors**

ТРАНСФОРМАЦІЯ ЛАНДШАФТІВ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВИХ КОНФЛІКТІВ

О.І. Дребот, О.В. Король

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

e-mail: drebotosana@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2681-1074

e-mail: 9485805@ukr.net; ORCID: 0009-0001-4683-0101

Нестабільна геополітична ситуація XXI ст. супроводжується активізацією воєнних дій та тривалих збройних конфліктів, які спричиняють масштабні руйнування ландшафтів, порушення екологічної рівноваги та деградацію ключових компонентів навколишнього середовища. Аналіз сучасних наукових джерел засвідчив актуальність дослідження проблеми мілітарного впливу як на стан екосистем загалом, так і ландшафтів зокрема. Водночас, наявна обмеженість комплексного вивчення проблеми охорони та відтворення ландшафтів із часів останніх масштабних воєнних дій на території Європи XX ст. У статті систематизовано та узагальнено основні прямі та непрямі впливи військових дій на природні ландшафти. Встановлено, що військові конфлікти призводять до безпосереднього фізичного руйнування ландшафтів, знищення лісових екосистем, деградації ґрунтового покриву, порушення гідрологічного режиму, забруднення водних і ґрунтових ресурсів, а також повітря токсичними речовинами, важкими металами, продуктами вибухових реакцій і паливно-мастильними матеріалами. Використання сучасних зразків зброї під час військових конфліктів руйнує природні екосистеми і біоценотичні зв'язки, порушує біосферні процеси. Значні екологічні втрати пов'язані зі зменшенням та знищенням біорізноманіття, зниженням продуктивності екосистем і погіршенням їх здатності до самовідновлення. Також увагу приділено віддаленим та кумулятивним наслідкам, які проявляються за межами зон безпосередніх бойових дій внаслідок транскордонної міграції полютантів, фрагментації природних середовищ існування та втрати біорізноманіття на регіональному й глобальному рівнях. Актуальність сучасних досліджень у сфері мілітарної дії на стан та охорону природних комплексів ландшафтів пов'язана з появою та розвитком нових процесів, явищ та тенденцій суспільного життя. З огляду на виявлені екологічні загрози, підкреслено необхідність розроблення та впровадження комплексних стратегій моніторингу, оцінювання й відновлення природних ландшафтів у післявоєнний період, з урахуванням сучасних наукових підходів, інноваційних технологій екологічної рекультивациі та міжнародного досвіду.

Ключові слова: військові дії, екологічні наслідки, екологічні ризики, деградація, забруднення, відновлення.

ВСТУП

Військові конфлікти є потужним чинником антропогенного впливу на навколишнє природне середовище. На відміну від багатьох інших антропогенних чинників, як-от промислове виробництво, сільське господарство, транспорт та ін., воєнні дії спричиняють одночасно руйнівний ефект на всі компоненти ландшафту й не передбачають заходів з їхнього захисту чи збереження. Вони зумовлюють як безпосереднє руйнування ландшафтів та їх компонентів, так і опосередковані зміни, що накопичуються з часом і можуть поширю-

ватися на значні території. Тому питання впливу військових конфліктів та застосування зброї на довкілля виходить за межі екології, охоплюючи глобальні проблеми змін клімату, біозахисту та продовольчої безпеки [1–3].

Особливу небезпеку війн та військових конфліктів становить ланцюгова реакція екологічних порушень, внаслідок яких локальні руйнування ініціюють вторинні процеси деградації, що поширюються на значні території та виходять далеко за межі епіцентру. Прикладами таких віддалених наслідків є міграція на значні відстані забруднювачів повітряними масами, поверх-

невими і підземними водними джерелами, а також вплив на міграційні шляхи птахів та інших видів фауни, що мешкають на території кількох країн [4].

Важливе місце в сучасних дослідженнях наслідків воєнних конфліктів займає визначення змін у ландшафтах як структурних одиниць екосистем. Ландшафт є інтегративною природно-територіальною системою, де взаємодіють геологічна основа, рельєф, ґрунти, рослинність, гідромережа та кліматичні чинники. Порушення будь-якого з цих компонентів через воєнні дії неминуче змінює функціонування всієї екосистеми [5]. Нині такі зміни розглядають як загрози та негативну еволюцію, оскільки спричиняють втрату різноманітності, цілісності та ідентичності ландшафту [6]. Тому, аналіз змін ландшафтно-ї структури та функціональних зв'язків між її елементами є ключовим для оцінки масштабів екологічної шкоди та розробки стратегій відновлення постраждалих територій.

З огляду на загострення геополітичної ситуації у світі та тривалу збройну агресію РФ проти України, яка загостила екологічні ризики, **метою роботи** було провести аналіз сучасних наукових джерел щодо визначення основних прямих і непрямих впливів військових конфліктів на ландшафти.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У дослідженнях використано порівняльний аналіз, синтез та узагальнення. На основі аналізу наукових джерел, які документують вплив війни на навколишнє середовище в сучасних конфліктах, систематизовано погляди щодо їх дії на стан ландшафту та його компонентів, розвиток деградаційних процесів і втрату біорізноманіття. Наведено приклади трансформації ландшафтів, які зазнали руйнівного впливу військових дій упродовж ХХІ ст.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Нестабільна геополітична ситуація ХХІ ст. супроводжується військовими дія-

ми та тривалими конфліктами, внаслідок яких поряд із соціально-економічною і гуманітарною кризою світ стикається з глобальними екологічними проблемами. Як наслідок, відбуваються значні руйнування природних екосистем, порушення екологічної рівноваги та деградація ключових компонентів навколишнього природного середовища [1; 7]. Військові дії спричиняють безпосереднє фізичне пошкодження ландшафтів, забруднення ґрунтів, водних джерел і атмосфери токсичними речовинами, важкими металами та іншими небезпечними речовинами. Тривалі конфлікти призводять до знищення рослинного покриву, ерозії ґрунтів, зміни гідрологічних режимів і втрати біорізноманіття, що істотно послаблює здатність природних екосистем до самовідновлення та знижують їх екосистемні послуги. Сукупно ці чинники формують довготривалі екологічні загрози, що мають негативний вплив не лише на території безпосередніх військових дій, але й поширюються на суміжні території й регіони, оскільки можуть мати транскордонний вплив на якість повітря або забруднення річок, водоносних горизонтів тощо [8].

Серед таких прикладів трансформації ландшафтів, що зазнали руйнівного впливу військових дій у різних регіонах світу в ХХІ ст., варто згадати про війну в Іраку. Внаслідок застосування зброї і масових руйнувань соціальної інфраструктури і промислових районів відбулось значне погіршення стану ґрунтів і води нафтовими продуктами, важкими металами й хімічними речовинами тощо [9]. Зазначають про значне забруднення пісків пустелі свинцем, ртуттю, ураном, які з пиловими бурями потрапляють до міст і становлять загрозу для здоров'я населення [10]. Руйнування іригаційних систем і каналів спричинило деградацію сільськогосподарських угідь, а вибухи — зміну рельєфу та розвиток ерозійних процесів.

Бойові дії та обстріли під час громадянської війни в Сирії зумовили масове переселення населення, що збільшило тиск на природні ресурси, особливо рослинність та ґрунт, унаслідок чого темпи ерозії ґрун-

ту та рівень її ризику значно зросли [11]. Відбулось активне знищення лісових екосистем та сільськогосподарських угідь. Зруйновані системи зрошення та інфраструктура викликали зміну гідрологічного режиму, забруднення ґрунтового покриву і втрату біорізноманіття, а також вибуховими речовинами і токсичними хімічними речовинами, що негативно позначилось на родючості ґрунтів та їх якісний стан і здоров'я населення, створюючи довготривалі екологічні ризики. Зокрема, військові операції призвели до зниження якості води на 30% через забруднення боєприпасами та розливами хімікатів, що загостило існуючі проблеми дефіциту води в регіоні [12]. Також посушливий клімат Сирії робить екосистеми дуже вразливими до пожеж, а збройні конфлікти часто супроводжуються пірогенними процесами [13].

Тривалі військові дії під час антитерористичної операції в Афганістані зумовили руйнування промислових об'єктів і соціальної інфраструктури, мінування значних площ території, що викликало деградацію природних екосистем. Військова техніка спричинила ущільнення ґрунтів, порушення водного балансу і забруднення навколишнього середовища важкими металами, хімічними речовинами та паливно-мастильними матеріалами. Внаслідок цього зросла вразливість агроекосистем і зниження продуктивності земель [14]. Водночас спостерігали таке позитивне явище, як збільшення рослинності на 3,17% унаслідок міграції людей та зменшення їх впливу на довкілля [15].

Руйнування традиційних терасних сільськогосподарських ландшафтів, що зумовило масову ерозію ґрунтів і втрату родючих площ, стало показовим екологічним наслідком громадянської війни в Ємені. У поєднанні зі швидким зростанням населення ці чинники призвели до масштабної деградації навколишнього середовища, включаючи виснаження водних ресурсів, опустелювання сільськогосподарських угідь, вирубку лісів та забруднення земель і води. Ці зміни ще більше загострили гуманітарну кризу у регіоні [16; 17].

М. Qumsiyeh [18], аналізуючи наслідки екологічної катастрофи від довготривалого палестинсько-ізраїльського конфлікту наголошує на значній деградації довкілля, забрудненню ґрунту, повітря та води внаслідок використання боєприпасів зі збідненим ураном, вибухових речовин високої дії та запальних бомб, зокрема білий фосфор. Також існує проблема накопичення додаткових твердих відходів, що спричинило значне забруднення підводного середовища та створило значну екологічну небезпеку. Існує надмірне шумове забруднення від безперервних польотів дронів та реактивних літаків, ракет, бомбардувань із танків та кораблів, що впливає на морських ссавців. Пошкодження об'єктів водопостачання та водовідведення призвело до зростання рівня забруднення та виснаження джерел підземних вод, а також погіршення стану ґрунтів і морських вод.

Збройна агресія РФ проти України, яка триває з 2014 р., викликала масштабну трансформацію природних і сільськогосподарських ландшафтів, розвиток деградаційних процесів, зміни гідрологічного режиму річкових басейнів, забруднення ґрунтових та водних ресурсів, повітря, втрату біорізноманіття та негативний вплив на кліматичну систему [19–21]. Найбільшого руйнівного впливу зазнають ґрунти [19; 22; 23]. Внаслідок вибухів, пожеж, порушення ґрунтів, переміщення техніки, будівництва фортифікаційних споруд значну негативну дію мають лісові екосистеми, які також забруднюються фрагментами техніки та боєприпасів, вибухонебезпечними предметами, хімічними речовинами, побутовими відходами й іншими забруднювачами [21]. Екологічною катастрофою визнано руйнування Каховської ГЕС у 2023 р., що зумовило сильне забруднення мазутом, вивільнення забруднюваних речовин, які накопичилися в осадових породах водосховища, створивши недооцінену довгострокову загрозу для прісноводних, естуарних та морських екосистем [24].

Отже, навіть короткий огляд наслідків впливу військових конфліктів ХХІ ст. визначає їх потужну руйнівну дію на нав-

колишнє середовище. Проведений аналіз 193 тематичних досліджень засвідчив, що вирубка лісів (34%), ерозія ґрунту (23%) та втрата біорізноманіття є найчастіше згадуваними екологічними наслідками воєн у світі [25].

Для належного реагування та управління необхідні дослідження для вимірювання наслідків такого впливу. Необхідно враховувати, що в кожному конкретному випадку наслідки можуть бути неоднорідними та залежати від багатьох чинників, у т. ч. географії, ступені і характеру використання зброї як під час навчань, так і в прямих бойових діях тощо [26]. Також існує багато прогалин у дослідженнях щодо розуміння впливу військових конфліктів на довкілля через їх стохастичний та непередбачуваний характер і обмеження доступу до того, що стає закритими військовими зонами під час конфліктів [27]. Незважаючи на вищезазначене, дослідники дійшли спільного висновку, що вплив війни та військових конфліктів на навколишнє природне середовище є потужним, впливаючи не лише безпосередньо на ландшафти, а й на довгострокову екологічну стабільність регіону загалом [25].

Отже, військові конфлікти створили багаторівневий комплекс негативних впливів (табл.). Вони охоплюють як прямі, так і непрямі наслідки. Наприклад, прямі наслідки включають знищення лісових і аграрних екосистем, механічне руйнування рельєфу, фізична деградація ґрунтів, хімічне, фізичне та шумове забруднення тощо [28].

Непрямі наслідки, такі як втрата біорізноманіття, зміна мікроклімату, фрагментація біотопів, порушення екосистем через переміщення населення та експлуатацію ресурсів, є не менш серйозними. Варто враховувати, що використання боеприпасів призводить до прямого забруднення важкими металами та небезпечними хімічними речовинами, які можуть залишатися в навколишньому середовищі ще довго після закінчення конфліктів. Це забруднення не лише впливає на місцеві екосистеми, але й створює ризики для здоров'я людей у прилеглих районах.

Війни та військові конфлікти прискорюють вимирання видів, безпосередньо порушуючи екосистеми та знищуючи середовища існування, що зумовлює швидке скорочення популяцій, а в деяких випадках і зникнення видів. Знищення середо-

Типи впливів військових конфліктів на ландшафти

Тип впливу	Основні прояви
Механічний	Руйнування рельєфу та ґрунтового покриву (воронки, траншеї, укріплення, фортифікаційні споруди), знищення лісових екосистем, вирівнювання територій важкою технікою
Хімічний	Забруднення ґрунтів і водних джерел важкими металами, нафтовими продуктами, вибуховими речовинами, пестицидами та ін. небезпечними речовинами
Фізичний	Пожежі, термічні ураження фіто- і зоофауни, зміна температурного режиму, вплив вибухових хвиль на ґрунт, шумове забруднення
Біологічний	Втрата біорізноманіття, порушення міграційних шляхів тварин, зникнення видів, поширення інвазійних видів
Гідрологічний	Руйнування дамб, каналів, меліоративних систем, зміна рівня ґрунтових вод, затоплення або осушення територій
Соціально-економічний	Припинення сільськогосподарського використання, депопуляція сіл, неконтрольоване використання природних ресурсів

Примітка: сформовано авторами на основі опрацьованих наукових джерел.

вища існування є одним із найпряміших і найпомітніших наслідків війни для біорізноманіття. Військові операції часто вимагають розчищення земель для створення баз, навчальних майданчиків та логістичних маршрутів. Як наслідок, значні площі природних середовищ існування часто пошкоджуються або знищуються. Лісові екосистеми, водно-болотні угіддя та інші чутливі екосистеми вирубуються або деградує, зменшуючи життєздатний простір для представників дикої природи та порушуючи екологічні процеси. Знищення середовища існування такого масштабу часто є незворотним, особливо в екологічно вразливих регіонах [1].

Екологічні наслідки інвазійних видів, що з'являються під час військових конфліктів, є глибокими, оскільки вони часто змінюють структуру середовища існування, доступність ресурсів та взаємодію видів таким чином, що порушують місцеві екосистеми. У багатьох випадках інвазійні види можуть змінювати склад ґрунту, доступність води або навіть фізичну структуру екосистем, спричиняючи додатковий стрес для аборигенних популяцій [29].

Серед глобальних непрямих дій варто зазначити вплив на зміни клімату. Близько 5,5% світових викидів парникових газів генерується військовою діяльністю у всьому світі, що включає викиди від споживання палива, виробництва обладнання та операційної діяльності [30]. Це у поєднанні зі зниженими під час військових операцій такими важливими середовищами існування, як лісові екосистеми та водно-болотні угіддя, що відіграють важливу роль у поглинанні вуглецю та кругообігу води, загострюють проблеми змін клімату.

Більшість наукових праць із визначення прямих наслідків воєнних дій та їх пролонгованого впливу присвячено ґрунту. Деградаційні процеси в останньому внаслідок воєнних дій мають комплексний характер і проявляються як у зміні у фізико-хімічних, так і біологічних параметрів [1; 19; 20; 22; 23; 31]. До ключових чинників негативного впливу належать механічне руйнування ґрунтового профілю внаслідок вибу-

хів та пересування важкої техніки, забруднення важкими металами, вуглеводнями та продуктами детонації вибухових речовин, а також порушення гідрологічного режиму територій. Накопичення токсичних сполук у ґрунті призводить до зниження родючості, зміни буферних властивостей, пригнічення мікробіологічної активності та руйнування трофічних ланцюгів [1; 22]. Порушення ґрунтового мікробіому через забруднення є істотним наслідком, який впливає на здоров'я ґрунту, його токсичність та функціонування екосистеми загалом [22]. Особливо небезпечним є те, що частина політантів характеризується високою міграційною здатністю та тривалим періодом напіврозпаду, що підвищує ризики їх вторинного потрапляння в ґрунтові води, повітря й трофічні ланцюги. Сукупно ці процеси формують довготривалу екологічну загрозу, наслідки якої можуть проявлятися десятиліттями після завершення бойових дій, що визначає необхідність постійного екологічного моніторингу та розроблення комплексних програм відновлення постраждалих територій [31; 32].

Отже, з огляду на визначені екологічні загрози і наслідки військових конфліктів, постає необхідність розроблення та впровадження комплексних стратегій моніторингу, оцінювання й відновлення природних ландшафтів у повоєнний період. Такі стратегії мають базуватися на сучасних наукових підходах щодо вивчення екосистемної динаміки, інтегрувати інноваційні технології екологічної рекультиваци, біо- та фітореMediaції, а також враховувати потенціал природоорієнтованих рішень для підвищення стійкості екосистем. Важливим елементом є використання міжнародного досвіду та найкращих практик із відновлення територій, що постраждали від воєнних дій, із залученням міждисциплінарних команд фахівців, громадських ініціатив та органів влади. Це забезпечить не лише ліквідацію безпосередніх наслідків військового впливу, але й формування довгострокових механізмів запобігання подальшій деградації навколишнього середовища та збереження біорізноманіття.

ВИСНОВКИ

Військові дії спричиняють комплексний вплив на ландшафти, поєднуючи прямі та непрямі механічні руйнування. Найуразливішими структурними елементами ландшафтів є ґрунтова та гідрологічна екосистеми, біорізноманіття. Відновлення по-

страждалих ландшафтів потребує інтегрованого підходу, що включає моніторинг їх стану із застосуванням супутникових даних, розроблення ефективних заходів на основі сучасних технологій із відновлення ґрунтів і водних джерел, збереження біорізноманіття.

ЛІТЕРАТУРА

1. Wirtu, Y. D., & Abdela, U. (2025). Impact of war on the environment: ecocide. *Front. Environ. Sci.*, 13, 1539520. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1539520>.
2. Nguyen, T. T., Timilsina, R. R., Sonobe, T., & Rahut, D. B. (2023). Interstate war and food security: Implications from Russia's invasion of Ukraine. *Front. Sustain. Food Syst.*, 7, 1080696. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1080696>.
3. Demyanyuk, O., Symochko, L., Vlasenko, I., Kashanova, T., & Blenda, A. (2024). Antimicrobial Resistance: Challenges in Wartime – Ukrainian Perspective. *Mikrobiolohichniy Zhurnal*, 86(3), 88–105. DOI: <https://doi.org/10.15407>.
4. Bothe, M. (2023). Protection of the environment in relation to armed conflict — 50 years of effort, and no end in sight. *Environ. Secur.*, 1(1–2), 24–35. DOI: <https://doi.org/10.1177/27538796231195601>.
5. Van den Berghe, H., Gheyle, W., Stichelbaut, B., Van Meirvenne, M., Bourgeois, J., & Van Eetvelde, V. (2020). Understanding the landscape dynamics from a devastated to revived cultural landscape: The case of the First World War in Flanders through the lens of landscape patterns. *Land Use Policy*, 90, 104236. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104236>.
6. Antrop, M. (2005). Why landscapes of the past are important for the future. *Landscape Urban Plan*, 70(1–2), 21–34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.002>.
7. Brauer, J. (2016). War and nature: the environmental consequences of war in a globalized world. *Peace Res*, 48(4), 561–562. DOI: <https://doi.org/10.5771/780759119291>.
8. Meng, X., Lu, B., Liu, C., Zhang, Z., Chen, J., Herrmann, H., & Li, X. (2023). Abrupt exacerbation in air quality over Europe after the outbreak of Russia-Ukraine war. *Environ. Int. Elsevier Ltd.*, 178, 108120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108120>.
9. Altahaan, Z., & Dobslaw, D. (2024). Assessment of the Impact of War on Concentrations of Pollutants and Heavy Metals and Their Seasonal Variations in Water and Sediments of the Tigris River in Mosul/Iraq. *Environments*, 11(1), 10. DOI: <https://doi.org/10.3390/environments11010010>.
10. Al-Shammari, A. (2016). Environmental pollutions associated to conflicts in Iraq and related health problems. *Rev. Environ Health*, 31(2), 245–250. DOI: <https://doi.org/10.1515/reveh-2015-0024>.
11. Abdo, H. G. (2018). Impacts of war in Syria on vegetation dynamics and erosion risks in Safita area, Tartous, Syria. *Reg. Environ Change*, 18, 1707–1719. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1280-3>.
12. Abbaraa, A., Zakieha, O., Rayesb, D., Collind, S. M., Almhawishe, N., Sullivanf, R., ... Karah, N. (2021). Weaponizing water as an instrument of war in Syria: impact on diarrhoeal disease in Idlib and Aleppo governorates, 2011–2019. *Int. J. Infect. Dis.*, 108, 202–208. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2021.05.030>.
13. Zubkova, M., Giglio, L., Michael, L., Humber, J. V. H., & Ellicott, E. (2021). Conflict and climate: Drivers of fire activity in Syria in the twenty-first century. *Earth Interact*, 25(1), 119–135. DOI: <https://doi.org/10.1175/ei-d-21-0009.1>.
14. Mitra, D., & Azimullah, W. (2020). Effect of Afghanistan War on Environment. *Research Review International Journal of Multidisciplinary*, 5(1), 58–66.
15. Zhang, Z., Ding, J., Zhao, W., Liu, Y., & Pereira, P. (2023). The impact of the armed conflict in Afghanistan on vegetation dynamics. *Science of The Total Environment*, 856(2), 159138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159138>.
16. European Institute of Peace. (2025). Exploring the Environment as a Common Ground in Yemen. URL: <https://www.eip.org/exploring-the-environment-as-a-common-ground-in-yemen/>.
17. Imtiaz, A. (2023). Impacts of war on the environment: an overview of Yemen. *International Journal of Humanities & Social Science Studies*, IX(III), 216–229. DOI: <https://doi.org/10.29032/ijhss.v9.i3.2023.216-229>.
18. Qumsiyeh, M. B. (2024). Impact of the Israeli military activities on the environment. *Int. J. Environ. Stud.*, 81(2), 977–992. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2323365>.
19. Строкаль, В. П., Бережняя, Є. М., Наумовська, О. І., Вагальок, Л. В., Ладика, М. М., Сербенюк, Г. А., ... Павлюк, С. Д. (2023). Вплив російської агресії на стан природних ресурсів України: моногр. / за заг. ред. В. П. Строкаль. Київ: Видавничий центр НУБіП України.
20. Solokha, M., Pereira, P., Symochko, L., Vynokurova, N., Demyanyuk, O., Sementsova, K., ... Barcelo, D. (2023). Russian-Ukrainian war impacts on the environment. Evidences from the field and remote sensing. *Science of the Total Environment*, 902, 166122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166122>.
21. Кузик, А. Д., & Товарянський, В. І. (2023). Вплив воєнних дій на лісові екосистеми України та їх післявоєнне відновлення. *Вісник Львівського дер-*

- жвавого університету безпеки життєдіяльності, 27, 16–22. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.27.2023.02>.
22. Solokha, M., Demyanyuk, O., Symochko, L., Mazur, S., Vynokurova, N., Sementsova, K., & Mariychuk, R. (2024). Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. *Land*, 13(10), 1614. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13101614>.
 23. Бережнюк, Є. М., Бондарь, В. І., Наумовська, О. І., Ракоїд, О. О., Клепо, А. В., Ладика, М. М., ... Дем'янюк, О. С. (2024). Аналіз прояву деградаційних процесів ґрунтового покриву Київської області за впливу воєнних дій. *Збалансоване природокористування*, 4, 114–126. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2025.324377>.
 24. Shumilova, O., Sukhodolov, A., Osadcha, N., Oreshchenko, A., Constantinescu, G., Afanasyev, S., Koken, M., ... Grossart, H.-P. (2025). Environmental effects of the Kakhovka Dam destruction by warfare in Ukraine. *Science*, 387, 1181–1186. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.adn8655>.
 25. Meaza, H., Ghebreyohannes, T., Nyssen, J., Tesfamariam, Z., Demissie, B., Poesen, J., ... Vanmaercke, M. (2024). Managing the environmental impacts of war: What can be learned from conflict-vulnerable communities? *Science of The Total Environment*, 927, 171974. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171974>.
 26. Pearson, C. (2012). Researching militarized landscapes: A literature review on war and the militarization of the environment. *Landscape Research*, 37(1), 115–133. DOI: <https://doi.org/10.1080/01426397.2011.570974>.
 27. Lawrence, M. J., Stemberger, H. L., Zolderdo, A. J., Struthers, D. P., & Cooke, S. J. (2015). The effects of modern war and military activities on biodiversity and the environment. *Environmental Reviews*, 23(4), 443–460. DOI: <https://doi.org/10.1139/er-2015-0039>.
 28. Gleditsch, N. P. (2015). *Armed conflict and the environment*. Springer, 81–103. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-03820-9>.
 29. Santini, A., Maresi, G., Richardson, D. M., & Liebholt, A. M. (2023). Collateral damage: military invasions beget biological invasions. *Front. Ecol. Environ*, 21(10), 469–478. DOI: <https://doi.org/10.1002/fee.2640>.
 30. Neimark, B. (2024). Confronting military greenhouse gas emissions. In *Interactive policy*. London, UK: Brief. URL: <https://www.planetarysecurityinitiative.org/news/confronting-military-greenhouse-gas-emissions>.
 31. Балюк, С. А., Кучер, А. В., & Солоха, М. О. (2022). *Вплив збройної агресії та воєнних дій на сучасний стан ґрунтового покриву, оцінка шкоди та збитків, заходи з відновлення: наукова доповідь*. Харків: ФОП Бровін О.В.
 32. Корсун, С. Г., Болоховська, В. А., Болоховський, В. В., Хоменко, Т. О., Борко Ю. П., Дем'янюк, О. С., & Костина, Т. П. (2024). Агроекологічне обґрунтування меліоративних чинників для відновлення ґрунтів, порушених воєнними діями. *Агроекологічний журнал*, 2, 100–112. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2024.305663>.

Стаття надійшла до редакції журналу 21.07.2025

ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ПОПУЛЯЦІЇ МИСЛИВСЬКИХ ТВАРИН

С.М. Левандовська¹, Т.М. Рик², С.І. Ключка³

¹Білоцерківський національний аграрний університет
(м. Біла Церква, Київська обл., Україна)

e-mail: svtmzel@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8485-6134

²КЗВО ЛОР «Львівська медична академія імені Андрея Крупинського» (м. Львів, Україна)

e-mail: tanyaryk.lma@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4860-9109

³Черкаський державний технологічний університет (м. Черкаси, Україна)

e-mail: svitkl@ukr.net; ORCID: 0000-0001-5702-6840

Зважаючи на зростання антропогенного навантаження та глобальні зміни клімату, стає неминуchoю деструктивна динаміка у світі диких тварин, що знаходить практичне вираження у негативних тенденціях розвитку та розмноження переважної більшості мисливських тварин, звуженні їх природних біотопів, скороченні популяцій. Метою дослідження є аналіз впливу сучасних кліматичних змін на динаміку популяцій мисливських тварин та розроблення оптимізаційних заходів щодо підвищення їх резильєнтності. Методологія складена аналітично-синтетичними методами, порівнянням, узагальненням, систематизацією та абстракцією, що дало можливість дослідити причинно-наслідкові зв'язки, передумови, детермінуючі чинники. У статті охарактеризовано основні практичні наслідки впливу глобальних змін клімату для екосистем, визначено напрями поганої динаміки у популяціях мисливських тварин, спричиненої глобальним потеплінням. Актуалізовано проблематику в умовах активних бойових дій в Україні, які безпосередньо або опосередковано посилюють вплив негативних кліматичних змін. Аналіз статистичних даних із офіційних джерел дав змогу ідентифікувати низьку ефективність традиційних стратегій відновлення популяцій у межах мисливських господарств у регіонах, що підтверджується нульовими, а подекуди — від'ємними показниками чисельності популяцій основних мисливських видів. Досліджено ключові інноваційні підходи до регенерації популяцій мисливських тварин у лісових екосистемах в умовах негативної глобальної динаміки клімату, зокрема — шляхом удосконалення нормативно-правової бази, забезпечення охорони мисливських тварин під час реалізації програм боротьби зі змінами клімату, планування і реалізації проєктів із охорони і використання природних ресурсів, оптимізації проведення процедур оцінки впливу на довкілля, інтеграції інноваційних управлінських рішень, приєднання до міжнародних ініціатив щодо стабілізації кліматичних процесів та скорочення викидів парникових газів. Обґрунтовано значення раціональної організації ведення лісомисливського господарства як одного з ефективних інструментів у протидії кліматичним змінам. Визначено важливі цілі перспективного розвитку лісомисливського господарства у досліджуваному контексті, зважаючи на міжнародні норми та пріоритети сталого розвитку.

Ключові слова: угіддя, стратегія управління, регенерація, чисельність, щільність популяції, антропогенне навантаження, глобальне потепління, лісові екосистеми.

ВСТУП

Глобальні зміни клімату на сьогодні розглядаються європейською спільнотою як гостра масштабна проблема. За прогнозами Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) при ООН (ІРСС), яка об'єднує вчених з усього світу для оцінки

кліматичних змін, упродовж найближчого століття температура повітря підвищиться мінімум на 2–5°C, що спричинить серйозні кліматичні зміни, в результаті чого цілі екосистеми опиняться на межі зникнення.

Мисливські тварини у природному середовищі розвитку перебувають під пря-

ним чи опосередкованим впливом низки детермінуючих чинників, які визначають стан популяцій, динаміку показників щільності та чисельності, міграції й сезонних переміщень особин. Збільшується антропогенне навантаження на лісові екосистеми, що відображається у посиленні впливу основних абіотичних чинників, першочергово — кліматичних.

Тварини гостро відчувають наслідки зміни клімату. Оскільки температура повітря поступово підвищується, а погодні умови набувають дедалі більшої екстремальності, багатьом видам стає досить важко адаптуватися до таких змін. Окремим видам мисливських тварин загрожує знищення, якщо вони не розвинули резильєнтності до динамічного середовища. Резильєнтність необхідно розуміти як здатність успішно адаптуватися до ускладнених обставин життєдіяльності, відновлення, здатність вистояти та ставати сильнішим в умовах викликів. Дефініція резильєнтності в контексті мисливських тварин тісно пов'язана з їх адаптацією — процесом практичного пристосування до умов навколишнього середовища для виживання та розмноження.

Зміни клімату по-різному впливають на популяції мисливських тварин. Зокрема, більш високі показники температури повітря змушують певні види мігрувати в прохолодніші регіони, що потенційно може призвести до конфлікту та конкуренції з місцевими видами. Динаміка кількості опадів слугує причиною посухи, що не допомагає тваринам знайти їжу та воду. Водночас, екстремальні погодні явища, як-от урагани чи повені, спроможні винищити цілі популяції через комплексний деструктивний вплив на довкілля.

Зважаючи на гостру актуальність проблематики, очевидно стає необхідність розширеного дослідження аспектів впливу глобальних змін клімату на популяції фауни.

Мета роботи полягала у виявленні негативних тенденцій у динаміці популяцій мисливських тварин та розроблення заходів щодо підвищення їх резильєнтності.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблема звуження природних біотопів для мисливських тварин під впливом глобальних кліматичних змін висвітлена в окремих публікаціях сучасних дослідників. Зокрема, питання динаміки популяцій тварин лісових екосистем у сучасних екологічних умовах розглядається в наукових напрацюваннях: W. Rippl та ін. [1], LeDee та ін. [2], Soravia та ін. [3], S. Carver та ін. [4], J. Lewis та ін. [5], S. Sippel та ін. [6]. Окремі аспекти управління популяціями мисливських видів аналізуються у роботах P. Forster, B. Abrahms, Q. Sattar та ін. [7–9]. Дослідники зосереджують увагу на попередженні щодо наслідків кліматичної надзвичайної ситуації для дикої природи, намагаючись сформувати стратегію управління дикою природою в умовах теплового стресу, підвищення рівня адаптивності диких видів. S. Carver та ін. [4], до того ж визначає керівні принципи для ревайлдингу, а J. Lewis та ін. [5] аналізують аспекти впливу людини на популяції диких тварин, визначаючи певні моделі активності.

Особливості трансформації екосистем під впливом антропогенного навантаження формують коло наукових інтересів Y. Malhi, T. Caro, J. Cohen та ін. [10–12]. Вчені зауважують, що антропогенний вплив слугує причиною фізіологічних та поведінкових змін у мисливських тварин, котрі важко піддаються врегулюванню. Сучасні концепції відновлення популяцій представлені в публікаціях P. Hohenlohe та ін. [13], C. Parmesan та ін. [14], C. Roberts та ін. [15]. Окрім вузькогалузевих заходів, серед яких — регенерація зниклих популяцій, створення генетичних банків, реінтродукція, підтримання чисельності існуючих популяцій, автори також виокремлюють значимість управлінських мір, участі в міжнародних проєктах зі збереження довкілля та запобігання кліматичним змінам.

Аналіз видань останніми роками переконливо засвідчує необхідність трансформації підходів до збереження популяцій мисливських видів диких тварин на тлі глобальної кліматичної динаміки. Крім

того, практичні напрями раціональної організації ведення лісомисливського господарства для підвищення резильєнтності популяцій до негативних змін довкілля потребують розширеної аналітики.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методологія була складена аналітично-синтетичними методами: систематизацією та абстракцією, порівнянням, узагальненням, для ідентифікації причинно-наслідкових зв'язків, визначення основних критеріїв і дефініцій, детермінуючих чинників та передумов.

Матеріалами дослідження слугували результати наукових досліджень та публікацій, представлених у провідних базах даних (Scopus, Web of Science), вибірка яких формувалась у 2020–2025 рр. Обмеження дослідження зумовлені відсутністю доступу до повних і актуальних статистичних даних і складність експериментальної перевірки теоретичних висновків.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Екологічна безпека визначається стійкістю екосистем, яка забезпечується їх біорізноманіттям. Водночас, наразі фіксується помітне зменшення і навіть зникнення багатьох видів тварин. Зокрема, зубри фактично винищені через полювання, окремі види птахів на водно-болотних угіддях страждають від забруднення та втрати середовища існування, ссавці (лисиця, вовк, борсук, куниця, єнот уссурійський, видра, рись) зменшують чисельність видів через надмірне антропогенне навантаження.

Мисливське та лісове господарство відіграють важливу роль у збереженні біорізноманіття та ефективному управлінні екосистемами. Глобальні зміни клімату спричиняють низку проблем, зокрема, погіршення стану природного середовища розвитку популяцій мисливських тварин та якості мисливських угідь, масову загибель тварин, неефективність традиційних заходів охорони та підтримання біорізноманіття природних екосистем.

Актуальність проблеми визначає потребу в оперативному і дієвому реагуванні на глобальні зміни клімату. Зміни клімату породжують цілком реальні, не пролонговані негативні явища, що проявляються на постійній основі у вигляді хвиль аномального тепла, підтоплення, ураганів та інших екстремальних погодних явищ. Зазначене є причиною знищення основної природної кормової та захисної бази. Непередбачувані різкі коливання температури повітря, як і повені, зливи та інші загрозливі для існування мисливських тварин явища, змушують окремі види до міграції. Це порушує баланс екосистем, призводить до небажаної конкуренції видів, негативно відображається на показниках чисельності та щільності популяцій [10].

Вплив кліматичних змін посилюється тиском надмірної антропогенної діяльності, зокрема, хімізацією, розорюванням та меліорацією земель, порушенням природоохоронних вимог. Водночас, набувають поширення низка небезпечних інфекційних та паразитарних захворювань тварин, що подекуди досягає масштабів епізоотії. Серед інфекційних захворювань особливу небезпеку становлять вірусні (сказ, туляремія, африканська чума свиней, чума дрібних гризунів, хвороба Ауескі) та бактеріальні (лептоспіроз, туберкульоз, бруцельоз), а також грибкові (дерматомікози) та паразитарні захворювання (гельмінтози, протозойні інвазії, ектопаразити). До того ж окремі з них можуть потенційно передаватись людині. Необхідним є систематичне проведення ветеринарних досліджень мисливських тварин, з метою своєчасного виявлення та контролю поширення паразитарних й інфекційних захворювань, превентивного попередження їх розповсюдження серед людей, повного інформування мисливців і населення щодо загрози та наслідків захворювань, заходів з їх профілактики.

Україна приєдналася до низки ініціатив світової спільноти щодо стабілізації кліматичних процесів та скорочення викидів парникових газів. Водночас, війна підсилила негативні

екологічні зміни, створюючи нові та значні джерела викидів парникових газів, що слугує причиною негативного впливу на кліматотвірні чинники [16]. Дикі звірі дедалі частіше мігрують у західні області країни, через зміну клімату та військову агресію. Спостереження демонструють, що лосі, а також інші тварини, дедалі частіше рухаються на захід, у безпечніші райони, втікаючи від військових дій і впливу змін клімату.

Порушення правил екологічної безпеки, підлив нафтобаз та інших промислових об'єктів сприяє загині великої кількості тварин. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України постійно звітує про площі земель, які зазнають пошкоджень через бомбардування, а разом із ґрунтами втрачається і біорізноманіття, зокрема тварин.

Знищення або пошкодження лісових масивів, зелених насаджень призвели до негативних наслідків війни для степових тварин. Популяції окремих рідкісних видів налічують усього 100 особин і мають дуже локалізовані місця перебування, що особливо загострює питання збереження таких видів. Масове знищення тваринного світу можуть викликати екологічну катастрофу. Важливо акумулювати доказову базу щодо масового знищення тваринного світу та встановлювати причинно-наслідкові зв'язки у розвитку локальних та регіональних екологічних катастроф.

Зміна клімату істотно впливає на тварин, адже температура підвищується, а погодні умови стають більш екстремальними, тому більшість видів щосили намагаються адаптуватись. Зокрема, теплі зими та відсутність товстого снігового покриву полегшують пересування тварин. Деяким популяціям загрожує повне зникнення, якщо вони не будуть спроможні розвинути резильєнтність до середовища, що змінюється.

Аномально теплі зими істотно вплинули на поведінку диких тварин. Так, часто ведмеді, відмовляються від зимової сплячки, а в оленів та інших копитних змістився період розмноження. Під загрозою — приплід зайців. Зазвичай він припадає на березень,

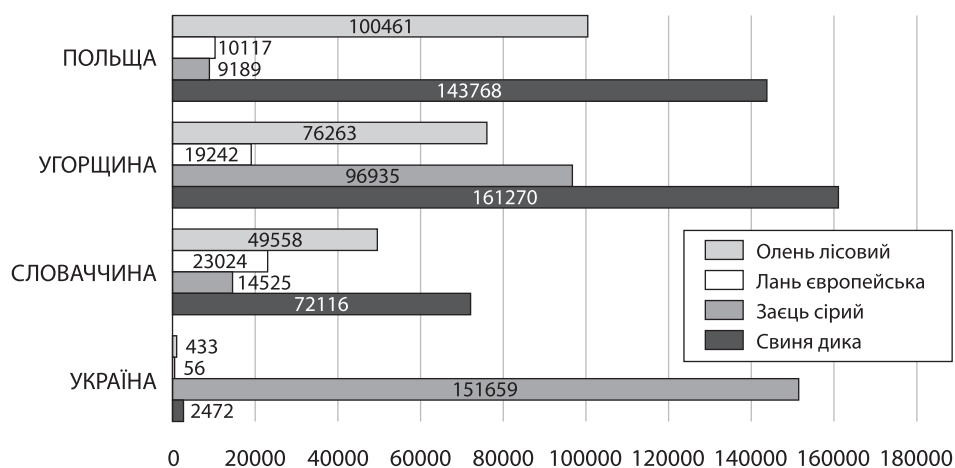
але через теплу погоду і січневі відлиги цей процес може зміститися на лютий. У разі сильних морозів молодняк може загинути. Через зміну клімату на південь мігрували шакали, які скорочують популяцію довговухих та фазанів. Дикі качки залишаються зимувати на місцевих водоймах і потребують підгодівлі [17].

Водночас, можна відмітити окремі позитивні наслідки глобального потепління для мисливських тварин: у косуль та оленів зменшилися ризики скорочення популяції внаслідок хвороб, які виникають внаслідок сильних морозів; відсутність снігу спрощує тваринам доступ до природних джерел їжі — корінців і трави; вистачає їжі для кабанів, козуль, оленів; формуються більш сприятливі умови проживання для популяції червонокнижного зубра європейського [17].

Одним із основних індикаторів адаптивності мисливського господарства до складних умов є кількість добутої дичини. Порівняння результатів ведення мисливського господарства із найпоширеніших видів мисливських тварин наведено на *рис.* Для порівняння обрані країни, що перебувають у схожих з Україною природних умовах та зазнають аналогічного впливу кліматичних змін. Інформація подана за 2021 р., що прийнято за репрезентативний, без впливу військових дій.

Аналізуючи статистичні дані, відображені на *рис.*, варто відзначити низькі показники добування мисливських тварин, окрім зайця сірого, для України, що свідчить про низьку продуктивність управління в мисливському господарстві. Водночас, основою розвитку мисливської галузі в країнах Європи є науковий підхід та кваліфікованість фахівців, цільова державна політика підтримки галузі, ефективне нормативно-правове забезпечення.

Очевидно, що загрози глобальної кліматичної динаміки зумовлюють актуалізацію уваги до змін підходів до відновлення популяцій та підвищення резильєнтності видів. Покращання якості мисливських угідь, захист їх від антропогенного навантаження та попередження поширенню небезпечних



Показники мисливського добування у деяких країнах, особ

Примітка: розроблена авторами за даними [18].

епізоотичних хвороб мисливських тварин вбачаються основними передумовами для ефективної протидії негативному впливу динаміки клімату. Зазначене передбачає удосконалення нормативно-правової бази, урахування інтересів мисливського господарства та забезпечення охорони мисливських тварин під час реалізації програм, проєктів і міжнародних кейсів із протидії змінам клімату. Важлива роль відводиться загальному підвищенню усвідомленості суспільства щодо пом'якшення впливу кліматичних змін.

У випадку зменшення показників чисельності та щільності популяції основною стратегією регенерації має бути оперативне нарощування кількісних показників до оптимального рівня та подальше довготривале підтримання щільності популяції на необхідному рівні. Крім того, слід забезпечити максимальну біологічну продуктивність та відсутність ознак деградації тварин. Ефективним також є гарантування бережливого режиму експлуатації лісових екосистем, що включає визначення граничного обсягу мисливського добування, заборону використання загінних видів полювання, зменшення допустимої величини добичі дорослих особин, тощо [19]. Такі заходи сприятимуть оптимізації показ-

ників щільності популяцій мисливських тварин.

З метою реалізації ефективного моніторингу динаміки популяцій мисливських тварин під впливом динаміки клімату, за доцільне вбачається використання можливостей сучасних геоінформаційних систем та інноваційних пристроїв, що дасть можливість збирати та акумулювати інформацію не лише щодо динаміки стану угідь, дію антропогенного навантаження, показників щільності та чисельності популяцій, але й про характер міграції популяцій, особливості умов їх проживання, дієвість адаптаційних процесів [20]. Зокрема, можливості фотопасток, супутникового знімкування, інноваційних безпілотних літальних апаратів, тепловізорів підвищують ефективність управління популяціями.

Скорочення викидів, що має бути важливим кроком у боротьбі зі змінами клімату, найкраще забезпечується за допомогою результативного державного регулювання та якісних управлінських рішень [21]. Для періоду післявоєнної оптимізації ситуації доречними будуть як впровадження нових механізмів для довгострокових масштабних скорочень викидів, так і перегляд наявної політики. Кліматичний «менеджмент» може мати на меті як безпосереднє

скорочення рівня викидів парникових газів та токсичних речовин, так і паралельно фокусуватися на інших цілях, як-от оновлення, оптимізація та екологізація діяльності енергетичних ринків, лісового господарства, вирішення продовольчого забезпечення, збереження біорізноманіття [21]. Цілі є взаємно імплементованими та комплексними принципами сталого розвитку. Зокрема, запропонований підхід відповідає Цілі 15: Збереження екосистем суші, котра безпосередньо відноситься до збереження та відновлення наземних екосистем, як-от ліси, водно-болотні угіддя, посушливі землі та гори. Зазначене є необхідним аспектом підтримки місцевих тварин, а захист біорізноманіття є ключовим компонентом цієї цілі.

ВИСНОВКИ

На сьогодні дедалі більш відчутним стає вплив глобальних кліматичних змін на динаміку популяцій мисливських тварин, що детермінує необхідність впровадження науково обґрунтованих підходів до управління популяціями. Тварини гостро відчувають наслідки зміни клімату. Внаслідок підвищення температури повітря, погодні умови набувають дедалі більшої

екстремальності, багатьом видам доволі важко адаптуватись до таких змін. Зазначене слугує причиною знищення основної природної кормової та захисної бази. Непередбачувані різкі коливання температури повітря як і повені, зливи, та інші загрози для існування мисливських тварин явища, змушують окремі види до міграції, що порушує баланс екосистем, призводить до небажаної конкуренції видів, негативно відображається на показниках чисельності та щільності популяцій. Окремим видам загрожує зникнення, якщо вони не розвинули резильєнтності до динамічного середовища.

Зважаючи на кліматичну динаміку, першочергових змін потребують підходи до відновлення популяцій та підвищення резильєнтності видів. Основою розвитку мисливської галузі має стати науковий підхід та кваліфікованість фахівців, цільова державна політика підтримки галузі, ефективне нормативно-правове забезпечення, урахування інтересів мисливського господарства та забезпечення охорони мисливських тварин під час реалізації програм, проєктів і міжнародних кейсів із протидії змінам клімату.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ripplr, W., Wolf, C., & Newsome, T. (2020). World scientists' warning of a climate emergency. *BioScience*, 70, 8–12.
2. LeDee, O. E., Handler, S. D., Hoving, C. L., Swanson, C. W., & Zuckerberg, B. (2021). Preparing wildlife for climate change: How far have we come?. *The Journal of Wildlife Management*, 85(1), 7–16. DOI: <https://doi.org/10.1002/jwmg.21969>.
3. Soravia, C., Ashton, B. J., Thornton, A., & Ridley, A. R. (2021). The impacts of heat stress on animal cognition: Implications for adaptation to a changing climate. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12(4). DOI: <https://doi.org/10.1002/wcc.713>.
4. Carver, S., Convery, I., Hawkins, S., Beyers, R., Eagle, A., Kun, Z., & Soulé, M. (2021). Guiding principles for rewilding. *Conservation Biology*, 35(6), 1882–1893. DOI: <https://doi.org/10.1111/cobi.13730>.
5. Lewis, J. S., Spaulding, S., Swanson, H., Keeley, W., Gramza, A. R., Vande Woude, S., & Crooks, K. R. (2021). Human activity influences wildlife populations and activity patterns: implications for spatial and temporal refuges. *Ecosphere*, 12(5). DOI: <https://doi.org/10.1002/ecs2.3487>.
6. Sippel, S., Meinshausen, N., & Fischer, E. (2020). Climate change now detectable from any single day of weather at global scale. *Nat. Clim. Change*, 10, 35–41.
7. Forster, P., Maycock, A., McKenna, C., & Smith, C. (2020). Latest climate models confirm need for urgent mitigation. *Nat. Clim. Change*, 10, 7–10.
8. Abrahms, B. (2021). Human-wildlife conflict under climate change. *Science*, 373(6554), 484–485. URL: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.abj4216>.
9. Sattar, Q., Maqbool, M. E., Ehsan, R., Akhtar, S., Sattar, Q., & Maqbool, M. E. (2021). Review on climate change and its effect on wildlife and ecosystem. *Open J. Environ Biol*, 6(1), 8–14.
10. Malhi, Y., Lander, T., le Roux, E., Stevens, N., Macias-Fauria, M., Wedding, L., & Canney, S. (2022). The role of large wild animals in climate change mitigation and adaptation. *Current Biology*, 32(4), R181–R196.
11. Caro, T., Rowe, Z., Berger, J., Wholey, P., & Dob-

- son, A. (2022). An inconvenient misconception: Climate change is not the principal driver of biodiversity loss. *Conservation Letters*, 15(3). DOI: <https://doi.org/10.1111/conl.12868>.
12. Cohen, J. M., Sauer, E. L., Santiago, O., Spencer, S., & Rohr, J. R. (2020). Divergent impacts of warming weather on wildlife disease risk across climates. *Science*, 370(6519). DOI: <https://doi.org/10.1126/science.abb1702>.
13. Hohenlohe, P. A., Funk, W. C., & Rajora, O. P. (2021). Population genomics for wildlife conservation and management. *Molecular Ecology*, 30(1), 62–82. DOI: <https://doi.org/10.1111/mec.15720>.
14. Parmesan, C., Morecroft, M. D., & Trisurat, Y. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. *Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. URL: <https://hal.science/hal-03774939/document>.
15. Roberts, C. M., O'leary, B. C., & Hawkins, J. P. (2020). Climate change mitigation and nature conservation both require higher protected area targets. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794). DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0121>.
16. Гуржий, В. (2022). Війна в Україні може вплинути на глобальні кліматичні зміни. *Екологія*, 16. URL: <https://nasze-slowo.pl/vijna-v-ukrayinimozhevplynuty-na-globalni-klimatychni-zminy/>.
17. Schmitz, O. J., Sylvén, M., Atwood, T. B., Bakker, E. S., Berzaghi, F., Brodie, J. F., & Ylänne, H. (2023). Trophic rewilding can expand natural climate solutions. *Nature Climate Change*, 13(4), 324–333. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01631-6>.
18. Потенціал мисливського господарства України. Порівняння обсягів добування дичини в Європі (2024). Всеукраїнська асоціація мисливців та користувачів мисливських угідь. URL: <https://www.uahhg.org.ua/potencial-mislivskogo-gospodarstva-ukra%D1%97ni-porivnyannya-obsyagiv-dobuvannya-dichini-v-yevropi/>.
19. Leal Filho, W., Ternova, L., Parasnis, S. A., Kovalova, M., & Nagy, G. J. (2022). Climate change and zoonoses: a review of concepts, definitions, and bibliometrics. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2), 893. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19020893>.
20. Robinson, J. M., Harrison, P. A., Mavoa, S., & Breed, M. F. (2022). Existing and emerging uses of drones in restoration ecology. *Methods in Ecology and Evolution*, 13(9), 1899–1911. DOI: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13912>.
21. Kotiaho, J. S., & Moilanen, A. (2015). Conceptual and operational perspectives on ecosystem restoration options in the European Union and elsewhere. *Journal of Applied Ecology*, 52(4). DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12411>.

Стаття надійшла до редакції журналу 26.06.2025

ЕКОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ЕКОСИСТЕМНІ ПОСЛУГИ ОЗЕРА СОМИТСЬКЕ (НПП «ПУЩА РАДЗИВІЛА» РІВНЕНСЬКА ОБЛ.)

І.В. Наконечний¹, О.Г. Грушина¹, І.Л. Миропольський²

¹Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
(м. Миколаїв, Україна)

e-mail: nakonechniigor777@gmail.com; ORCID: 0000-0002-3797-3725

e-mail: olga.grushyna86@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1209-592X

²НПП «Пуща Радзивіла» (Рівненська обл., Україна)

e-mail: parkradz2022@ukr.net

Подані перші узагальнення результатів дослідження екологічного стану північної частини території Національного природного парку «Пуща Радзивіла» в районі малого оз. Сомитське, а також стану біотичних комплексів, пов'язаних із цією водоймою. Метою цієї роботи є вивчення загально-екологічних характеристик оз. Сомитське та його функціонального значення як органічної компоненти місцевої екосистеми в умовах відповідності. За результатами польових досліджень зафіксовано перші позитивні наслідки впливу впровадженого режиму заповідності щодо збереження і природного відтворення біотичних та абіотичних компонентів болотно-лісових і озерних геобіоценозів однієї із найменш вивчених ділянок території України. Встановлено, що лишаючись донині майже вільним від антропогенного впливу, оз. Сомитське утримує значення однієї з останніх первинно-природних водойм, характеристики якої важливі як базисні й порівняльні під час побудови еколого-гідрологічних моделей прогностичного стану водно-болотних утворень Центрального Полісся. Озеро та пов'язані з ним біотопи є ареною існування раритетної флори і фауни, у складі яких відповідно 19 і 28 видів із найвищим статусом охорони (ЧКУ). Реальна екосистемна значимість малого лісового озера охоплює такий перелік послуг: регулювання стоку і запасів води; підвищення якості поверхневих і ґрунтових вод; поліпшення інфільтрації води, сприяння накопиченню води у ґрунті і поповненню ґрунтових вод; зниження ерозії та ймовірності зсувів. Окрім того, окремо ідентифікуються й послуги культурно-оздоровчого, туристичного і краєзнавчого плану, а також озеро слугує азоніальним ландшафтним утворенням, основним середовищем існування біоти та її оселищ, надає притулок мігруючим тваринам та птахам і зберігає значення природно-модельного й індикаторного об'єкта. Оз. Сомитське постає природним резервуаром біорізноманіття, забезпечуючи стабільність локальної екосистеми. Його гідроекологічна роль охоплює регулювання водного балансу, що має критичне значення для підтримки сталого функціонування природних комплексів Полісся.

Ключові слова: ПЗФ Рівнинщини, Північне Полісся, лісові екосистеми, раритетна біота України, характеристики лісових озер.

ВСТУП

Національний природний парк (НПП) «Пуща Радзивіла» загальною площею 24265,3 га розташований у північно-східній частині Сарненського р-ну Рівненської обл. Цей об'єкт ПЗФ створений на початку 2022 р. відповідно до Указу Президента України від 1 січня 2022 р. № 4/2022 [1] з метою охорони унікальних природних комплексів Центрального Полісся. Тери-

торія Парку, контактуючи зі східними межами Рівненського природного заповідника та західними межами Поліського природного заповідника, формує майже цілісний Центрально-Поліський масив земель, що охороняються, загальною площею понад 90 тис. га, який із півночі обмежений лінією державного кордону.

Маючи загальний низинно-рівнинний характер місцевості за значного рівня заболоченості (22%), переважна частина площі Національного парку дронується притоками

р. Стви́ги, частково притоками р. Плав та мережами меліоративних каналів, які задіяні на них. Частка лісовкритих площ Парку значна і сягає 64% [2]. На території Парку присутні й декілька невеликих озер (площа 3–5 га), серед яких типологічно і територіально уособлюється оз. Сомитське, розташовано в безстічній ділянці межиріччя р. Стви́га та її правої притоки — р. Плав. Лишаючись до наявного часу майже вільним від антропогенного впливу, оз. Сомитське утримує значення однієї з останніх первинно-природних водойм, характеристики якої важливі як базисні й порівняльні під час побудови еколого-гідрологічних моделей прогностичного стану водно-болотних утворень Центрального Полісся.

Відповідно, **метою цієї роботи** є вивчення загально-екологічних характеристик оз. Сомитське та функціонального значення цієї водойми як органічної компоненти місцевої екосистеми.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Згадки щодо оз. Сомитське представлені в історичних документах і нарисах, присвячених князям Радзивілам, у центральнопольських володіннях яких знаходилась ця водойма [3]. Точне картографічне відображення розташування озера (*рис. 1*) вже є на карті Мінської та Волинської губерній 1866 р. [4]. Радянські військові карти 30-х років XX ст. деталізують озеро в урочищі Сомити по західному краю піщаного підвищення, що розділяє болота Сиверець та Ходичев (*рис. 2*). На цьому самому підвищенні неподалік озера позначено хутір Сомити, нині відсутній [5].

Короткі характеристики оз. Сомитське, починаючи з 50-х років XX ст. подані в регіонально-описових публікаціях щодо географії та природи Українського Полісся. Новітні, значно деталізовані дані щодо рослинності та територіально-гідрографічних особливостей водно-болотних комплексів, у межах яких знаходиться оз. Сомитське, наведені в двотомній праці з питань меліорації за ред. Я.М. Гадзала, В.А. Сташука,

А.М. Рокочинського [6]. З числа публікацій, присвячених саме дослідженням оз. Сомитське насамперед потрібно зазначити роботи В.О. Мартинюка зі співавт. [7–9]. Останні належать авторській групі рівненських дослідників, якими опрацьовано ключові питання ландшафтної структури басейнової геосистеми озера (2007 р.), створений екологічний паспорт водойми (2019 р.) і деталізовано її гідрохімічні характеристики (2021 р.). Поточні характеристики екологічного стану озера присутні у щорічних звітах Департаменту екології Рівненської обласної державної адміністрації та в Екологічному Паспорті області [10; 11]. Загалом, у зв'язку з невеликими розмірами і віддаленістю оз. Сомитське, щодо нього бракує матеріалів системних гідроекологічних та іхтіологічних досліджень. Інформаційна обмеженість та нестача



Рис. 1. Фрагмент карти Волинської губернії 1866–1867 рр.



Рис. 2. Фрагмент карти Генштабу РСЧА, за рекогносцируванням 1916 і 1931 рр. Лист 35-20-А (Войткевичі)

ча ретроспективних даних стримує всебічний моніторинг цієї унікальної водойми, гідроекосистема якої функціонує в умовах відсутності антропогенної трансформації і може слугувати важливим природно-модельним об'єктом.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Базисними документами для цієї статті слугували результати досліджень оз. Сомитське та навколишньої місцевості як структурно-територіальної частини НПП «Пуща Радзивіла». Вказані дослідження виконані під час експедиційно-маршрутних оглядах водойми у 2024–2025 рр. Основою вихідного інформаційного матеріалу є маршрутно-облікові дані, зокрема джерела з «Літопису Природи» НПП «Пуща Радзивіла», різноманітні картографічні тексти XIX–XX ст. тощо, зокрема важливими відомостями стали облікові дані, зібрані шляхом опитування місцевих жителів, рибалок-любителів, працівників Дубенського лісництва та інспекторів охорони Парку. Узагальнення результатів виконаних праць у поєднанні з об'ємними ретроспективними і сучасними матеріалами щодо геоморфології, геології, гідрології та кліматичних умов досліджуваної місцевості дали можливість сформувати основні уявлення щодо екологічної характеристики оз. Сомитське.

Як основні методи досліджень були обрані стандартні методики польових гідрологічних, ландшафтних, зоологічних і ботанічних обстежень. Видовий склад тєріофауни, що мешкає в районі оз. Сомитське, визначали на основі власних обліків тварин (слідові та візуальні), на аналізі звітних даних попередніх користувачів лісових угідь (за 2003–2019 рр.) і шляхом опитувань працівників служби охорони Парку. Орнітофауну та її видовий склад аналізували за результатами маршрутних обліків, видовий склад іхтіофауни озера і його динаміку – на даних опитувань та періодичних спостережень водойми.

Ландшафти досліджуваної території ідентифікували за Єдиною класифікацією

природних і антропогенно змінених ландшафтних комплексів [12], типологію оселищ – за класифікацією EUNIS [13], біотопи – за Національним каталогом біотопів України [14].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Територія НПП «Пуща Радзивіла» знаходиться в кінцевій північно-західній частині Житомирського Полісся, цілком у межах Поліської Низовини і за схемою фізико-географічного районування України належить Клевівсько-Рокитнянському р-ну Поліської провінції зони Мішаних лісів. Геоморфологічно вся територія Парку ідентифікується в Рокитнянсько-Радомишльській цокольній пластово-аккумулятивній рівнині, утвореній на докембрійських породах. У ландшафтному відношенні це місцевості слабодренованих алювіально-зандрових рівнин під борами, суборами і низинними болотами. Наявні ландшафти (регіонального рівня) володіють вираженою здатністю до геохімічного самоочищення і до акумуляції забруднених речовин. У геоботанічному плані вони належать до Верхньо-Прип'ятського округу соснових і вільхових лісів, заплавних луків та боліт [15].

Лісове урочище Сомити розташоване в північно-східній частині території НПП «Пуща Радзивіла», що знаходиться в межах річчї малих р. Ствиги і Плаву з висотами на рівні 140–160 м, за декілька кілометрів на південь від державного кордону з Білоруссю. Адміністративно це територія Березівської сільської громади Сарненського р-ну Рівненської обл. Місцевість навколо озера відрізняється переважно низинним рельєфом на піщаних і супіщаних відкладах кватеру, вкритих різновіковими ділянками хвойно-широколистяного лісу. За загально-низинного характеру урочища в його межах присутні й субмеридіональні підвищення (+4–5 м) у вигляді піщаних грав і дюноподібних утворень та окремі піщані пагорби заввишки 3–5 м. Низинні ділянки переважно зволожені, на захід від урочища починається масив низовинного

болота, задіяного на долину Ствиги, тоді як болота на схід від урочища належать до водозбору р. Плав.

Грунтова поверхня сформована алювіальними та еоловими відкладами, що проявляються ділянками сіро-піщаного і лісового типу, місцями перекритих перезволоженими перегнійно-болотними накопиченнями. За рельєфом це типова частина полігенної низовинної рівнини зі слабким нахилом на захід — у сторону долини р. Ствиги, проте головна дирекція стоку — на північ, до субширотної долини Прип'яті.

Геологічний базис ділянки урочища Сомитське зумовлений складним поєднанням давніх кристалічних порід і товщами молодого осадового чохла, суцільно перекритих алювіальними і органогенними відкладами кінцевого плейстоцену-голоцену. До того ж сама місцевість розташована на північному фасі Українського кристалічного щиту, товщі якого (допалеозойські породи поліської серії) занурені завглибшки до 300 м. Кристалічні товщі стикаються з крайніми формаціями (представлені породами клесівської серії) Дніпровсько-Донецької мезозойської западини та окреслюють західну межу дорифейської Східно-Європейської платформи [16; 17]. Крім того, територія Парку, зокрема й досліджуване урочище, знаходяться за межами середньо-плейстоценового Дніпровського (Риського) зледеніння, літологічно відрізняються пануванням лесів і лесовидних утворень на четвертинних алювіальних відкладах. У південному та західному напрямках вони стикаються з піщаними відкладами прадолини Ствиги, нині частково перекритих низинними болотами. Загальна потужність відкладів кватеру сягає 20–40 м, цілком перекриваючи породи осадового чохла [18], з карстуванням якого вірогідно й пов'язаний генезис озера.

Саме оз. Сомитське знаходиться на північ від с. Обсіч на західному схилі невеликої (+4–7 м) піщаної гряди завширшки до 2 км, яка продовжується на північ до лінії державного кордону. Землевласником є Дубенське лісництво (6 квартал), яке має

площу 6139 га, зокрема 5 558 га — лісовкритих земель. Урочище Сомитське разом із озером у 1995 р. набуло статус заповідного, а з 2022 р. включено до складу НПП «Пуща Радзівіла». За чинною схемою внутрішньо-паркового зонування території Парку (рис. 3) озеро та підходи до нього полишені в зоні стаціонарної рекреації.

Водойма оз. Сомитське морфологічно має форму ідеального кола, береги обриваються стрімко і формують чашоподібне заглиблення (до 8 м). Така форма водойми, розташованої в безстічній ділянці межиріччя малих річок, закономірно наштовхує на думку про астрономічне походження. Навіть розгляд місцезонаштування озера в картографічній прив'язці до місць знаходження двох інших озер Парку — Білого та Лисецького (біля с. Хміль) цілком відповідає теоретичному розрахунку роз-



Рис. 3. Локалізація оз. Сомитське в структурі внутрішньо-паркового зонування території НПП «Пуща Радзівіла»

паду астероїда на висоті 12 км із вертикальною траєкторією падіння уламків проти напрямку руху планети. Втім, за даними В.О. Мартинюка зі співавт., які уважно вивчали геоморфологічну будову озера, його чаша має провальні-карстові походження, що є типовим для озер Полісся.

У березні 2025 р. було виконано гідроморфологічне обстеження озерної водойми з використанням ехолоту, що надало можливість деталізувати профіль берегів та донних відкладень. До того ж застосовували ехолот Lowrance Hook Reveal-7 83/200 HDI (без бокового огляду) з функцією DownScan Imaging, реалізованого завдяки датчику вертикального сканування, який працює на частотах 455/800 кГц. Прилад містить комплекс Genesis Live для побудови контурної карти водойми за картографією C-MAP.

Однак, враховуючи результати попередніх досліджень рівненських дослідників, які подані В.О. Мартинюком в екологічному паспорті оз. Сомитське (2019 р.), змін у морфологічних характеристиках водойми не виявлено. Так, уздовж берегів озера окреслена зона мілководдя завширшки до 3,4 м (мінімальна ширина 1,7 м у південно-західній ділянці водойми) та завглибшки у межах 0,2–0,5 м. Надалі від цієї смуги починається стрімке заглиблення берегового схилу до 3,7–3,9 м із повільним вирівнюванням за рахунок перекриття центра озера донними осадами завтовшки до 4 м.

Схилі ділянки берегів озера під водою частково вкриті наносами різної щільності, які містять залишки стовбурів дерев і жердин. Їх вірогідно закріплювали в донній товщі при льодоставах. Також зафіксовано й декілька валуноподібних утворень, укритих осадовим шаром завтовшки до 15 см. На межі глибин від 3,8 до 4,4 м починається шар осадових товщ із вираженням їх ущільненням углиб та стертою ехограмою донного профілю, яка згодом втрачається на рівні від 5,7 м. Варто зазначити, що чітко донна частина в центрі озера на ехограмі не простежується. Над осадовими товщами існує помітний на ехограмі водно-колоїдний прошарок (товщина 20–25 см),

який без помітних градієнтних меж переходить у нещільну структуру поверхні придонних відкладень.

Колір води озера візуально досить темний, що може бути спричинено темним фоном глибин, які за захмареного неба не освітлені прямим сонячним світлом. Під час заглиблення березової жердини прозорість води в озері сягає до 1,5 м, тоді як на залитих ділянках берегів — вода абсолютно прозора і не забарвлена. Риба на екрані ехолоту, задіяному на вертикальне сканування, траплялась не часто і переважно в приповерхневих товщах води, особин великих розмірів ($\geq 1,5$ кг) не зустрічали. Частіше знаходження зграйок некрупних риб мало місце поблизу північної ділянки берега, менш затіненого деревами та вздовж прибережних куртин очерету, поблизу впалих і частково занурених вершинами дерев.

Згідно з опитувальними даними, озеро звичайно замерзає в середині—наприкінці листопада, лід скресає на початку березня, сталий льодовий покрив сягає завтовшки до 25–30 см. Суцільний льодостав узимку 2024–2025 рр., на фоні відсутності довготривалих низьких температур, був короткочасним і формувався лише в 10–20 числах лютого. Згідно з замірами вертикальної структури температури води (станом на 15.03.2025), за температури повітря 17,2°C виявлено: на поверхні — 12,1°C, на глибині 1 м — 11,0°C, на глибині від 1,8 м і до донних відкладень температура води сягала 10,1°C. Межа термоклин, або зона вираженого температурного розшарування вод на момент дослідження фіксована на глибині 1,6–1,8 м.

Геоморфологія водойми. Поверхня водного дзеркала оз. Сомитське по урізу води знаходиться заввишки 145,012 м (замір 15.03.2025). Незначні коливання рівня води в озері мають місце, проте візуально малопомітні, тому, на думку місцевого населення, озеро сезонно і багаторічно є абсолютно стабільним. З огляду на стан берегів, коливання рівня води є повільними і загалом знаходяться в межах ± 20 –25 см, вірогідно проявляючи сезонну специфіку

динаміки. Втім, за останнього обстеження озера в березні 2025 р. візуально помітні зміни рівня, порівняно з ситуацією і реперами осені 2025 р., мали мінімальний прояв (+5–7 см).

Результати натурних обстежень водойми та її водозбірної площі, схематично і картографічно опрацьовані на основі можливостей геосайту Google Earth [19], подані на *рис. 4; 5*.

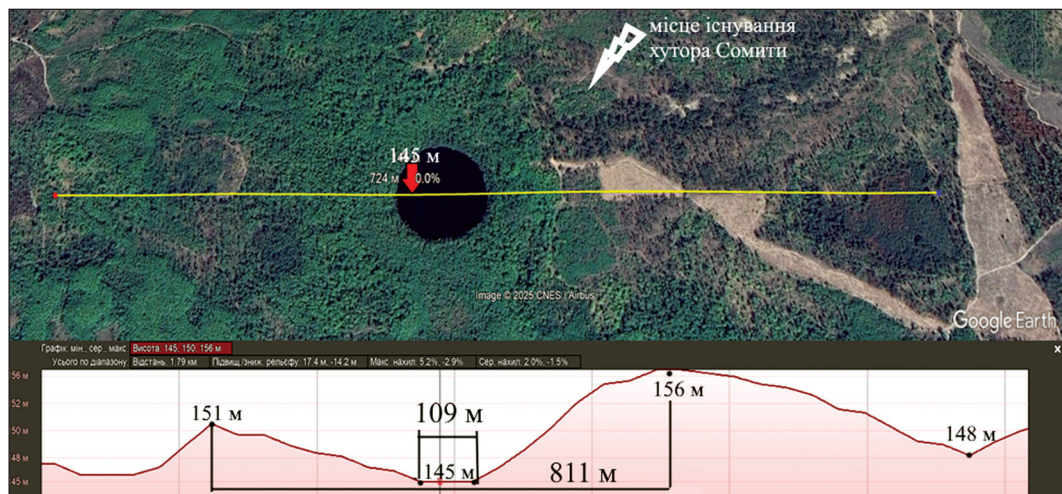


Рис. 4. Розміри та проєктивні висоти западини (захід–схід), в якій розташоване оз. Сомитське (на основі можливостей геосайту Google Earth)

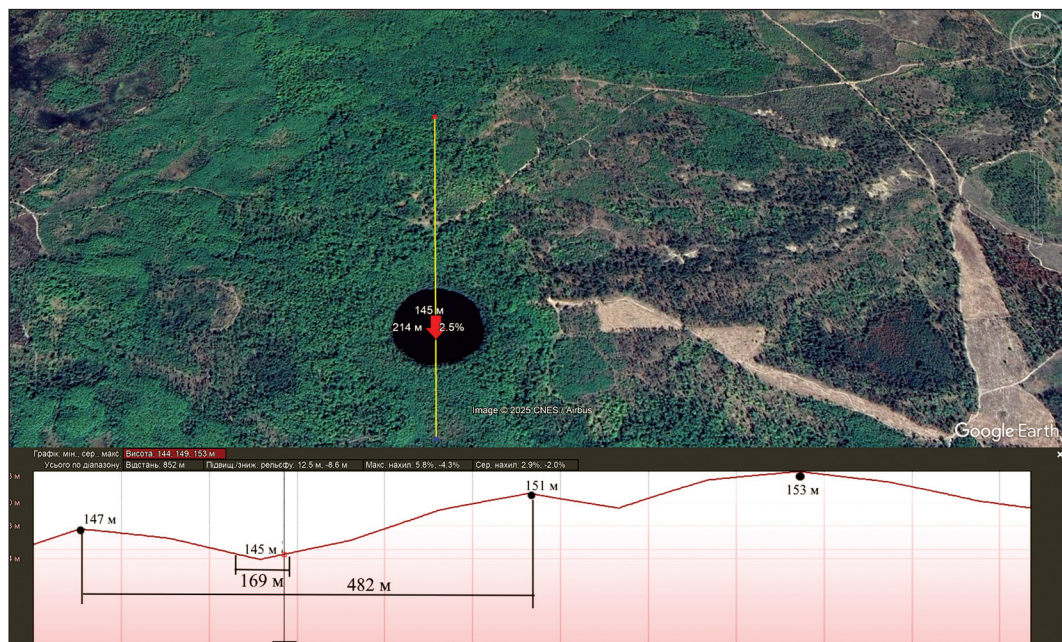


Рис. 5. Розміри та проєктивні висоти западини (південь–північ), в якій розташоване оз. Сомитське (на основі можливостей геосайту Google Earth)

Водне дзеркало озера має форму кола, дещо витягнутого на схід. Із останнього на захід довжина водного дзеркала — 109 м, відстань від верхніх точок бортів водозбору — 811 м. Довжина озера з півдня на північ, по урізу води — 98 м, а між верхніми точками бортів водозбору з півдня на північ — 482 м. Відповідно, периметр чаші озерної западини сягає 2482 м, загальна площа — 43,04 га (разом із площею водного дзеркала озера), виокремлена площа сухо-дільного водозбору — 40,56 га.

За середньої багаторічної кількості опадів на межі 600 мм/рік, сумарний обсяг атмосферних опадів, які потрапляють на водозбірну площу безстічного озера орієнтовно за розрахунками становить 258,3 тис. м³ (430,4 тис. м² × 0,6 м³). У реальності, враховуючи суто піщаний характер поверхні водозбору з украй високим рівнем інфільтраційного проникнення води на рівні 60% втрат, то сумарні обсяги поверхневого стоку до озера не можуть перевищувати 110–115 тис. м³. Із первинного обсягу поверхневого стоку, втраченого на інфільтрацію у зоні водозбору, ще до 40–50 тис. м³ також можуть потрапляти до озера завдяки підземному стоку в чашу водойми. Відповідно, сумарно-розрахунковий прихід води до чаші озера за середніми багаторічними показниками опадів слід очікувати максимум до 150–160 тис. м³. Спираючись на оцінки поверхневого стоку для даної місцевості в 130 мм [20], також можливо перерахувати і оцінити водний прихід водойми. Так, за площі 40,6 га водозбору і вказаному рівні поверхневого стоку (130 мм), розрахунковий обсяг поверхневого водного приходу буде сягати 52,6 тис. м³, що в поєднанні з інфільтраційно-підземним стоком у чашу озера (максимум 50 тис. м³) є близьким до середніх об'ємів попереднього розрахунку.

Витрати на випаровування для цієї площі водного дзеркала озера (2,87 га), за середніми показниками сучасного регіонального випаровування [21], які коливаються в межах 500–550 мм, були від 14,3 до 15,6 тис. м³. Можливі варіювання витрат

на випаровування в окремі роки, залежно від їх температурно-вітрового режиму, що оцінені у межах $\pm 12\%$. Загалом, розрахункові витрати через випаровування становлять для цієї водойми лише 11,3–12,8% від очікуваного обсягу приходу води. За відносної сталості рівня озера наявні невідповідності приходу–витрат води безсумнівно засвідчують існування та значимість підземного стоку, що найвірогідніше задіяний на північний захід і пов'язаний з підземно-водними горизонтами Сиверецького болота. Останнє первинно має ознаки заплавно-низового болота з частковим річковим живленням у межах гідросистеми р. Стви́ги. Показово, що рівень водного дзеркала озера (145 м) знаходиться майже на однаковому рівні з ґрунтовими водами навколишніх боліт (145–144 м), тобто утримується в межах стокових рівнів сучасного базису ерозії. Відповідно до цих умов, простежується вірогідність прямого гідравлічного взаємозв'язку безстічного оз. Сомитське з місцевими підземними водами та дренажною мережею гідросистеми р. Стви́га.

На фоні значного кліматичного варіювання останніми роками відбувається помітне зменшення об'ємів зимових сніжно-дощових опадів [22], що є визначальними у структурі живлення та гідрохімічного стану водойми. Зимово-весняний дефіцит води, особливо в сезон водопілля істотно дестабілізує прихідно-витратний баланс, який набуває певної хаотичності. Нестабільність поверхнево-стокового режиму безперечно має супровід у динаміці рівнів підґрунтових вод гідросистеми р. Стви́ги, впливаючи і на гідроекологічний стан оз. Сомитське. Нестача поверхнево-стокового живлення невеликого за площею озера, поверхня якого майже не піддається вітровим переміщенням, призводить до зростання сезонної амплітуди коливань температури поверхневих товщ води та зменшення в них запасів розчинного кисню (до $\pm 22,3\%$ впродовж весняно-літнього сезону 2024 р.). Для гідросистеми цієї озерної водойми найнебезпечнішими наслідками нестабільності температур і опадів є

утворення сталого термоклину і розвиток придонних явищ водно-кисневого дефіциту. Ці явища влітку ускладнені «цвітінням» поверхневих товщ води через бурхливе розмноження ціанобактерій, а взимку — процесами зв'язування кисню внаслідок деструкції органіки осадових накопичень.

Евтрофікація водойм, що відрізняється низькими рівнями мінералізації (і поживних речовин), досить незрозуміле явище і вірогідно забезпечене запасами біогенної речовини з донних відкладень озера. Поєднання процесів поверхневого «цвітіння» зі сталим термоклинним блокуванням вертикального кисневого обміну та різними біохімічними процесами у товщі сапропелю на фоні мінімальних рівнів мінералізації води, представляють вкрай динамічну фізико-біологічну систему. Виникнення та функціонування подібних систем вірогідно є характерним для первинних фаз трансформації давніх і сучасних озерно-аквальних побудов Полісся. З цих позицій вивчення цього причинно-наслідкового комплексу та його реакцій на кліматичну нестабільність середовища перспективне саме на прикладі чутливого природно-модельного об'єкта, яким може виступати оз. Сомитське.

Рослинні комплекси. За попередніми узагальненнями в районі оз. Сомитське виявлено 19 видів рослин із «червонокнижним» статусом, переважно ендеміків Полісся. Різносезонні обстеження озера демонструють характерну обмеженість площ мілководдя, що стримує розвиток вищої водної рослинності та вказує на відносну багаторічну і сезонну сталість рівня водойми. Вздовж берегів у воді присутній лише розріджений трав'янистий покрив із ознаками різнотравно-осокового комплексу та окремими куртинами очерету звичайного (*Phragmites australis*). Ця рослинність у межах вузької смуги прибережного мілководдя формує своєрідну зону супраліторального типу завширшки 0,5–2,0 м із незначним рівнем проективного покриття (від 32% до 15–8% в сторону озера). Влітку, за 3–5 м від берегів на відкритій воді набуває розвитку прибережна, місцями ро-

зірвана і відносно неширока (1,5–2,5 м) смуга макрофітної рослинності на основі латаття білого (*Nymphaea alba*).

Береговий схил озераї западини вище від рівня води вкритий щільною деревиною та чагарниковою рослинністю з присутністю вільхово-березового підросту. Північно-західний фрагмент озераї схилу невисокий (до 2 м), більш пологий, містить зволожений перегнійно-болотяний ґрунт і вкритий низькорослими формами широколистих дерев. Саме в цій ділянці берегової частини озераї присуття досить крупна субпопуляція рідкісного в Україні плауну річного, або колючого (*Lycopodium annotinum*). Загалом, лісисті берегові схили навколо озера зберігають природну структуру рослинних комплексів, які, сягаючи води, формують разом із лепешняком (*Glyceria maxima*), осоками (*Carex disticha*, *Carex pauciflora*, *Carex dioica*), очеретом (*Phragmites australis*) і чагарниками (*Salix acutifolia*, *Rubus fruticosus*) своєрідні бордюри.

Південна, східна та північна ділянки озераї берега вкриті добре відсортованими крупнозернистими темно-сірими пісками (завтовшки 0,5–0,3 м), розташованих на твердій основі. Вище по схилу від берега переважає дрібніший піщаний покрив жовтого та сіро-жовтого кольорів, іноді з ознаками лесоподібних прошарків. Північно-східна ділянка берегового схилу на відстані 45–60 м переходить у підняття, вирівняна поверхня якого на 4–5 м вище рівня озера. Ця ділянка вкрита ущільненим лісонасадженням сосни *Pinus sylvestris* із ознаками пригнічення та чагарниками на місці колишнього хутору Сомити. Там саме набуває розвитку в сторону озера яроподібне утворення (завглибки до 2,5 м, завширшки до 25 м), борти якого відкривають товщі крупнозернисто-піщаного ґрунту лесового типу.

Іхтіофауна оз. Сомитське обмежена за видовим різноманіттям і загалом не має особливих відмінностей від видової структури іхтіофауни регіону [23]. Простежується специфіка видового складу, що пов'язана з переважанням риб, стійких до

кисневого дефіциту, зокрема линь (*Tinca tinca*) і карась золотий (*Carassius carassius*), а також мешканців поверхневих вод — щука звичайна (*Esox lucius*), плітка звичайна (*Rutilus rutilus*), краснопірка (*Scardinius erythrophthalmus*). Найчисельнішим є мало-мірний окунь (*Perca fluviatilis*) із темними формами окраси тіла. Впродовж останніх років зустрічається й карась сріблястий (*Carassius gibelio*), що загрожує заміщенням карася золотого (звичайного), який ще присутній у незначній кількості, гібридними формами. Щодо заявленої в деяких публікаціях присутності сома (*Silurus glanis*) і в'юна (*Misgurnus fossilis*) достовірні дані відсутні. Також немає інформації щодо угруповань малакофауни, зокрема двостулкових молюсків (*Anodonta*, *Unio*), представники яких загалом поширені в басейні Верхньої Прип'яті [24]. Факти штучного зариблення озера, або привнесення людиною риби з інших водойм за документами і опитувальними даними поки невідомі, що дає можливість оцінювати місцеві іхтіоценози як первинні.

Головною особливістю іхтіофауни оз. Сомитське є наявність у недавньому минулому (до 2017 р.) червонокнижного миня річкового (*Lota lota*), який вірогідно зберігає свою присутність донині. Опитані місцеві мешканці чітко впізнають на серії фото риб саме миня, деталізуючи його специфічні ознаки та вказують на звичайність цього виду для досліджуваного озера. За їх свідченнями *Lota lota* ловили по 10–20 особ. щороку, до того ж абсолютно переважають доволі дрібні екземпляри масою до 0,5 кг. Після літньої посухи в 2017 р. в озері мали місце явища «цвітіння» води та задухи, що здебільшого зумовило рідкісні зустрічі миня річкового (у 2019 і 2020 рр.). Впродовж останніх п'яти років щодо знайход цієї риби повідомлень не зафіксовано. Мешканці с. Обсіч також стверджували, що в період серпневої посухи 2017 р. знахідки різновікових особин миня мали місце в меліоративних каналах на північній околиці села, мережа яких задіяна на гідросистему р. Стви́га. Подібні явища критичного стану озерної водойми з ознаками задухи риби

останніми роками виникають практично щоліта, проте вони не є новітніми і відомі в минулому, вказуючи цим на здатність акваекосистеми до самовідновлення.

Отже, безстічне оз. Сомитське, незважаючи на періодичні явища короточасної задухи і «цвітіння» води, до наявного часу зберігає природну іхтіофауну (6 видів) і є місцем існування рідкісних видів — миня і карася звичайного (золотого).

Фауністичні комплекси оз. Сомитське та навколишніх територій також є типовими для Полісся і представлені наземними, деревинними й наволоводними видами. Згідно з попередніми узагальненнями, у складі місцевої фауни у наявності 28 «червонокнижних» видів, зокрема 19 — із Червоного списку МСОП (2024).

Найбільше видове різноманіття утримує орнітофауна, неповний перелік складу якої поєднує понад 70 осілих і мігруючих видів. Із числа гніздових птахів, які присутні в околицях озера, насамперед раритетне значення мають червонокнижні лісові види — тетерук євразійський (*Lyrurus tetrax*), глушець білодзьобий (глухар) (*Tetrao urogallus*) та орябок лісовий (*Tetrastes bonasia*). Донедавна звичайні для межиріччя Стви́ги–Плаву ці представники борової дичини стали досить рідкісними і лише охоронний статус Парку забезпечує можливість їх природного відтворення.

Досить звичайними в околицях озера є й червонокнижні лісові сови — сіра (*Strix aluco*) та вухата (*Asio otus*). Присутній і рідкісний пугач звичайний (*Bubo bubo*), відомо й місце гніздівлі сови бородатої (*Strix nebulosa*). Більш часті біля озера зустрічі сича волохатого (*Aegolius funereus*). Гніздування сов поряд із озером зумовлено наявністю старих дуплистих дерев і мозаїчним станом різновікових лісонасаджень із сталою чисельністю мишоподібних гризунів.

Упродовж останніх 15–17 років у районі оз. Сомитське щороку присутні 1–2 гніздові пари лелеки чорного (*Ciconia nigra*) та 1–2 виводки сірого журавля (*Grus grus*). Гніздовими видами досліджуваної ділянки Парку є слуква лісова (*Scolopax rusticola*) і баранець великий (дупель) (*Gallinago*

media). Токова активність деркача (*Crex crex*) за звуковою специфікою простежується у травні–червні. Поблизу с. Обсіч до 2019 р. досить звичайними були зустрічі куріпки сірої (*Perdix perdix*), окреслюючи цю місцевість як крайню північну межу природного ареалу виду в Україні.

На самому озері постійно присутні гніздові пари та перелітні особини крижня (*Anas platyrhynchos*), нерозені (сіра качка) (*Anas strepera*), малої чирянки (*Anas creca*). Навесні та восени зупиняються пролітні зграї свища євразійського (*Mareca penelope*), широконосики (*Anas clypeata*), шилохвости (*Anas acuta*), періодично на ночівлю зупиняються зграї гусей — сірих (*Anser anser*) і білолобих (*Anser albifrons*). По берегах у дуплах дерев гніздиться гоголь (*Bucephala clangula*), декілька виводків якого щоліта спостерігають на воді озера. Постійними мешканцями озера є нирці — пірникози: велика (*Podiceps cristatus*) та чорношия (*Podiceps nigricollis*). Під час обстеження водойми 15 березня 2025 р. простежувалося п'ять пар пірникоз.

Окрім того, озеро та навколишні болота є місцями відпочинку і годівлі перелітних птахів, зокрема під час весняних і осінніх міграцій диких голубів. Приозерні ліси восени слугують місцями ночівлі для крупних зграй пролітних припухтнів (*Columba palumbus*). Влітку зафіксовані й гніздові пари горлиці звичайної (*Streptopelia turtur*).

Теріофауна цієї місцевості зберігає типovu для Полісся структуру видів і попередньо охоплює представників 34–36 наземних видів за майже повної відсутності даних щодо видового складу осілих і пролітних рукокрилих (*Chiroptera*). До того ж у наявний час для всієї території Парку характерна відносна малочисельність крупних тварин. Із їх числа в околицях озера бувають лосі *Alces alces* (в лютому 2025 р. простежені сліди зимових проходів) та козулі (*Capreolus capreolus*), іноді зустрічаються прохідні сліди оленя (*Cervus elaphus*), кабана дикого (*Sus scrofa*) і вовка (*Canis lupus*).

Звичайними є лисиця (*Vulpes vulpes*), заєць сирій європейський (*Lepus europaeus*),

горностай (*Mustela erminea*) та куниця лісова (*Martes martes*). Бобра і ондатри в озері немає, проте постійно проживає видра (*Lutra lutra*), в 2017 р. мало місце спостереження норки європейської (*Mustela lutreola*). Саме в околицях оз. Сомитське періодично зустрічається раритетний для України заєць-біляк (*Lepus timidus*). Завдяки малолюдності та відсутності останніми роками лісгосподарської діяльності в цій ділянці Парку осіло тримається 3–4 особ. рисі (*Lynx lynx*).

Узагальнюючи матеріали щодо сучасного стану фауністичних комплексів північно-західної частини території НПП «Пуща Радзивіла», потрібно акцентувати увагу на фактичну неповноту їх видового обліку. Так, не деталізовані видові переліки птахів, обмаль даних щодо видового складу рукокрилих, досить чисельних побіля озера. Мало інформації про видову структуру мишоподібних гризунів, невідома ситуація щодо вовчка (*Glis glis*) та соні лісової (*Dryomys nitedula*), кісткові рештки яких зустрічаються в пелетках сов. Із числа раритетних видів особливу увагу в плані охорони і необхідності більш глибокого дослідження привертає низка суто лісових тварин і птахів — рись євразійська (*Lynx lynx*), заєць білий (*Lepus timidus*), норка європейська (*Mustela lutreola*), орябок (*Tetrastes bonasia*), глушець (*Tetrao urogallus*) і тетерук (*Lyrurus tetrix*).

Щодо іхтіофауни озера, то раритетним є сам цілісний іхтіоценоз водойми, який не піддавався штучним змінам і утримує аборигенне походження та видову структуру. Найактуальнішим питанням щодо охорони озерного іхтіоценозу на сьогодні є проблема збереження миня (*Lota lota*) як рідкісного представника прісноводних водойм бореальної зони.

Зрозуміло, що порівняно значне біорізноманіття, так чи інакше пов'язано з оз. Сомитським, завдячує своєму існуванню збереженості біотопів та оселищ. Саме охорона останніх і слугувала метою створення Національного парку. Його діяльність вже на перших етапах функціонування забезпечила повноцінне збереження

унікальних комплексів водно-болотних і лісових ландшафтних комплексів Північного Полісся як цілісної ари існування місцевої біоти. Безперечно, що наразі базисна значимість лісового озера зумовлена важливістю саме його екосистемних послуг. До того ж у комплексі екосистемних послуг малого оз. Сомитське збережені не лише корисні ресурси та вигоди, що людина може отримати від природного стану цієї водойми, але й значимість її в складі місцевої екосистеми, незамінність біотопів і оселищ для біоти, мігруючих тварин та птахів. Важливою є також і локально-функціональна значимість озера в підтримці природної стабільності гідроекосистеми навколишніх боліт, які беруть участь у регуляції поверхневого і підземного стоку в межиріччі Стви́ги–Плаву та акумуляції й очищенні водних запасів цієї місцевості.

Відповідно, наявні оцінки екосистемних послуг озера цілком відповідають переліку взаємозалежностей, деталізованих у рекомендаціях Європейської комісії щодо оплати за послуги екосистем [25]. Реальна екосистемна значимість досліджуваної водойми практично ідентична європейському комплексу, позначеному як «екосистемні послуги, пов'язані з водою». Останні охоплюють такий перелік: регулювання стоку і запасів води; підвищення якості поверхневих і ґрунтових вод; поліпшення інфільтрації води, сприяння накопиченню води у ґрунті і поповненню ґрунтових вод; зниження ерозії та ймовірності зсувів. До того ж окремо ідентифікуються й послуги культурно-оздоровчого, туристичного і краєзнавчого плану. З цих позицій оз. Сомитське утримує лідерні позиції серед озер Парку, певною мірою й завдяки віддаленості та важкодоступності в межах прикордонної зони. Крім того, озеро слугує азональним ландшафтним утворенням, середовищем існування біоти та їх оселищ,

надає притулок мігруючим тваринам і птахам, а також зберігає значення перспективного природно-модельного та індикаторного об'єкта.

ВИСНОВКИ

Результати першого етапу загально-екологічних досліджень урочища та оз. Сомитське дають можливість розкрити комплексну структуру екосистемних послуг цих об'єктів і їх функціональну необхідність як ключового ландшафтного і біотичного природно-резерватного ядра, здатного поширювати свій відновний потенціал на більшу частину території НПП «Пу́ща Радзіві́ла». Оз. Сомитське і його околиці як цілісна територіальна компонента Національного парку є ареною існування унікальних біотичних комплексів із значною часткою видів, що знаходяться під загрозою зникнення, забезпечуючи їх захист, міграції та поширення. Гідросистема лісового озера реалізує низку гідрологічних функцій, підтримуючи цим сталу екологічну якість середовища та охорону цінних ландшафтних форм і є місцем існування природної іхтіофауни (6 видів), зокрема украї́н рідкісного миня (*L. lota*) і одного з останніх в Україні субпопуляцій карася золотого (*C. carassius*). Лишаючись донині майже вільним від антропогенного впливу, оз. Сомитське є цінним природно-модельним та індикаторним об'єктом, характеристики якого важливі в якості базисних і порівняльних під час побудови еколого-гідрологічних моделей прогностичного стану водно-болотних утворень Полісся.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з більш детальними різносезонними спостереженнями температурних і гідрохімічних характеристик водойми та всебічним вивченням її «екосистемних послуг» для навколишньої території.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про створення Національного природного парку «Пу́ща Радзіві́ла». Указ Президента України № 4/2022 (2022). (Україна). URL: <http://www.president.gov.ua/documents/42022-41113>.
2. НПП «Пу́ща Радзіві́ла». URL: <https://wownature.in.ua/parky-i-zapovidnyky/natsionalnyy-pryrodney-park-pushcha-radzivila/>.
3. Рибачок, І. (2021). Надавчі листи та привілеї

- власників міст Південно-Східної Волині (кінець XVI – перша половина XVII ст.). *Минуле і сучасне Волині та Полісся*, 70, 78–80.
4. Карта Мінської та Волинської губерній за 1866–1867 рр. М-1:126000 (3 версти в 1 дюймі). Ряд XX. Лист 6. (Частина 20-6). *Геопортал «Старовинні карти України»*. URL: https://freemap.com.ua/wp-content/themes/foundation_xy/assets/images/maps/trexverstovki/20-6.jpg.
 5. Карти Полісся Генштабу РСЧА за 1931 р. 1:50000. Квадрат М-35-20. *Геопортал «Старі Карти України»*. URL: <https://freemap.com.ua/karty-ukrainy/karty-rkka-500metrovki/karty-rkka-500-metrovki-genshtab-kvadrat-m-35-20/>.
 6. Гадзал, Я. М., Сташук, В. А., & Рокочинський, А. М. (Ред.). (2017). *Меліорація та облаштування Українського Полісся* (Т. 1). Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС.
 7. Мартинюк, В. О. (2007). Ландшафтна структура басейнової геосистеми озера Сомитське (Волинське Полісся). *Науковий вісник Волин. держ. ун-ту імені Лесі Українки*, 11(II), 94–100.
 8. Мартинюк, В. О., & Зубкович, І. В. (2019). *Екологічний паспорт озера Сомитське*. Рівне: Вид. О. Зень.
 9. Мартинюк, В. О., Осадча, О. І., & Куришко, К. В. (2021). Оцінка гідрохімічного стану озер проєктованого Національного Парку «Пуща Радзивіла». *Збірник наукових праць ЛОГОС*, 3. URL: <https://doi.org/10.36074/logos-26.02.2021.v3.67>.
 10. Департамент екології та природних ресурсів Рівненської облдержадміністрації. (2024). Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2023 році. Рівне. URL: https://www.ecorivne.gov.ua/tmp/dopovid_2023.pdf
 11. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України (2021). Екологічний паспорт Рівненської області. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/Ekologichnyj-pasport-Rivnenskoji-oblasti-za-2021>.
 12. Сорокіна, Л. Ю. (2019). *Єдина класифікація природних і антропогенно змінених ландшафтних комплексів*. Київ: Вид. «Сталь».
 13. Онищенко, В. А. (2016). *Оселища України за класифікацією EUNIS*. Київ: Фітосоціоцентр.
 14. Куземко, А. А., Дідух, Я. П., Онищенко, В. А., & Шеффер, Я. (Ред.). (2018). *Національний каталог біотопів України*. Київ: ФОП Клименко Ю.Я.
 15. Портал «Карти України». URL: <https://geomap.land.kiev.ua/zoning-1.html>.
 16. Шищенко, П. Г., & Гавриленко, О. П. (2017). *Гео-екологія України*. Київ: ДП «Прінт Сервіс».
 17. Огар, В. В. (2017). *Регіональна геологія*. Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка.
 18. Герасименко, Н. П. (2020). *Палеогеографія четвертинного періоду України (палеоландшафти)*. Київ: Прінт-Сервіс.
 19. Озеро Сомитське. (51.598052, 27.545577). Рокитнівський район, Рівненська область. Карти. URL: https://www.google.com/maps/@51.6011447,27.556563,9366m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=egoymdi1mduym4wikxmdsoasafqaw%3d%3d#:~:text=https%3a//maps.app.goo.gl/bjmfhbhavb7jizvq8.
 20. Мальований, М. С., Боярин, М. В., & Бедункова, О. О. (2023). Вплив кліматичних змін на водний режим річок Волинської області. *Вісник національного університету водного господарства та природокористування*, 1(101), 150–164. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs1202311>.
 21. Сніжко, С., Шевченко, О., & Дідовець, Ю. (2021). *Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України (повний звіт за результатами проєкту)*. Київ: Центр екологічних ініціатив «Екодія».
 22. Шевчук, С. А., & Вишневський, С. А. (2019). Зміни зволоженості Українського Полісся та їх наслідки. *Екологічні науки*, 26, 35–40.
 23. Куцоконь, Ю. К., & Кобзар, Л. І. (2017). Стан популяцій реофільних видів риб водойм Поліського заповідника і його околиць. *Біологічні системи*, 9, 2, 231–238.
 24. Шевчук, Л. М., Васильєва, Л. А., Пампура, М. М., & Межжерин, С. В. (2019). Перлівниці (Unionidae) України: ресурсна оцінка (чисельність, динаміка ареалів, особливості репродукції). *Вісник зоології*, 37, 96.
 25. Economic Commission for Europe (2007). *Recommendations on Payments for Ecosystem Services in Integrated Water Resources Management*. United Nations Publications, New York and Geneva. 60 p.

Стаття надійшла до редакції журналу 28.06.2025

BIOENERGETIC, ECOLOGICAL AND AGRONOMIC VALUE OF *MISCANTHUS* × *GIGANTEUS* GREEF ET DEU IN SUSTAINABLE LAND USE

V. Pidlisnyuk¹, T. Stefanovska², L. Janse^{3,4}, A. Medkov⁴

¹Університет Яна Євангеліста Пуркіне (Усті-над-Лабем, Чеська Республіка)
e-mail: pidlisnyuk@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1489-897X

²Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, Україна)
e-mail: tstefanovska@nubip.edu.ua; ORCID: 0000-0002-7522-5197

³Національна академія аграрних наук України (м. Київ, Україна)
e-mail: liliya.janse@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2567-5907

⁴Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: a.medkov@gmail.com; ORCID: 0000-0002-9305-8767

Miscanthus × *giganteus* (*M*×*g*) є високопродуктивною багаторічною енергетичною культурою, яка дедалі більше привертає увагу дослідників та аграріїв завдяки поєднанню потужного біоенергетичного потенціалу з широким спектром екологічних переваг. У статті розглядається її багатофункціональна роль у контексті сталого землекористування, біоенергетичного розвитку та відновлення деградованих земель. Особливу увагу приділено здатності культури рости на маргінальних, забруднених, еродованих і малопродуктивних ґрунтах, де традиційне сільське господарство є неефективним або неможливим. Завдяки потужній кореневій системі *M*×*g* сприяє збереженню ґрунтів, зниженню ризику ерозії, покращенню структури ґрунтового профілю та збільшенню вмісту органічної речовини. Крім того, *M*×*g* має високу фіторе mediaційну здатність. Вирощування *M*×*g* також позитивно впливає на зменшення викидів CO₂, та сприяє довготривалій фіксації. Біомаса рослини використовується не лише для виробництва твердого та рідкого біопалива, а й для виготовлення широкого спектра біокомпозиційних матеріалів, зокрема: пелетів, брикетів, компосту, біочару підстилки для утримання худоби та тварин, одноразового посуду, біорозкладного пакування, мульчі, кормових добавок (після відповідної обробки), будівельних матеріалів на основі целюлози, біопластиків, біополімерів, та інших продуктів біопереробки. Така універсальність використання *M*×*g* у різних галузях — енергетиці, сільському господарстві, будівництві та промисловості — робить його ключовим компонентом циркулярної біоекономіки та ефективним інструментом у зменшенні залежності від викопних ресурсів, підвищенні енергетичної безпеки, а також екобезпечного виробництва. Використання цієї культури також сприяє енергетичній безпеці, зменшенню залежності від викопних джерел палива та розвитку відновлюваних джерел енергії в регіонах із низькою родючістю ґрунтів. Окремо проаналізовано вплив біологічно активних препаратів на адаптивний потенціал культури, врожайність та стійкість до абіотичних чинників. Інтеграція *M*×*g* у сучасні агроєкосистеми забезпечує низку економічних, енергетичних та природоохоронних переваг, сприяючи формуванню екологічно збалансованої моделі землекористування.

Ключові слова: міскантус, виробництво біоенергії, фіторе mediaція, біостимулятори, покращення якості ґрунтів.

INTRODUCTION

The escalating global demand for renewable energy, coupled with the increasing need for sustainable land management, has placed a significant focus on the development of high-

biomass energy crops. *Miscanthus* × *giganteus* Greef et Deu. (*M*×*g*), Commonly known as Giant *Miscanthus*, has emerged as one of the most promising candidates in this field due to its exceptional biomass yield, adaptability to marginal lands, and potential for environmental remediation. This perennial grass,

renowned for its robustness and efficiency in bioenergy production, has shown significant promise not only in addressing renewable energy needs but also in improving soil health and mitigating environmental pollution.

Miscanthus has proven to be an effective tool in land restoration projects, particularly in areas degraded by contamination from activities such as mining and military operations. Its ability to thrive on such lands without demanding substantial inputs makes it an ideal solution for large-scale agricultural applications aimed at both bioenergy production and soil decontamination. Beyond its ecological advantages, the plant's high biomass productivity is increasingly recognized as a valuable resource for the production of biofuels and biochar. These uses not only support renewable energy systems but also contribute to climate change mitigation efforts by reducing reliance on fossil fuels.

Moreover, the role of *Miscanthus* extends into the realm of phytoremediation, where its capacity to absorb and detoxify harmful pollutants such as heavy metals and pesticides enhances its suitability for cultivating contaminated lands. Recent research highlights the potential of biostimulants and plant growth regulators — substances that promote plant growth and resilience — further enhancing the plant's resistance to environmental stressors like drought, extreme temperatures, and soil degradation. These advances suggest that *Miscanthus* could be optimally integrated into agroecosystems, supporting both bioenergy production and environmental restoration efforts.

This review aims to examine the multiple roles of *M. × g.*, particularly its potential in renewable energy production, land restoration, and ecological remediation. By synthesizing current research on its adaptability, biomass yield, and environmental benefits, this review seeks to contribute to a deeper understanding of the plant's ecological and economic value and assess the potential of biochar produced from *Miscanthus* biomass to enhance soil quality and reduce pollution. Additionally, it explores the emerging application of biostimulants as a strategy to optimize *Miscanthus* cultiva-

tion, providing insights into how this crop can be further developed as a cornerstone of sustainable agricultural and energy systems.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCH

This literature review synthesizes research on the use of *Miscanthus* spp. and other high-biomass energy crops for renewable energy, soil restoration, and phytoremediation. A comprehensive search was conducted using academic databases such as Google Scholar, ScienceDirect, and Web of Science, focusing on studies published between 2017 and 2024. Key search terms included «*Miscanthus*», «bioenergy crops», «phytoremediation», and «marginal lands». Only peer-reviewed journal articles, conference proceedings, and technical reports were included.

Studies were selected based on their relevance to *Miscanthus* in bioenergy production, soil contamination remediation, and biomass conversion to biofuels or biochar. Excluded studies either focused on unrelated crops or lacked sufficient methodological detail. Key data points extracted from selected studies included biomass yields, the effectiveness of *Miscanthus* in decontaminating soils, and its role in soil health improvement and microbial activity.

The data were categorized thematically to facilitate comparative analysis across studies, with a focus on agricultural productivity, phytoremediation potential, and environmental and economic impacts. The findings were synthesized to identify trends and gaps in the literature, while providing a holistic assessment of *Miscanthus* as an energy crop and its ecological benefits.

THE ROLE OF *MISCANTHUS* IN SUSTAINABLE LAND USE AND RENEWABLE ENERGY

The demand for land resources for food production and renewable energy from agriculture and forestry continues to grow due to the increasing population. Food security issues are becoming increasingly relevant. Improving soil quality on low-productivity and contaminated lands can be one way to strengthen food security.

Global energy consumption from fossil fuels has caused a range of problems such as air pollution, greenhouse gas emissions, and, as a consequence, exacerbation of climate change. Reducing dependence on fossil energy sources is possible by growing raw materials for bioenergy. Bioenergy crops on lands unsuitable for agriculture can become not only a source of renewable energy but also contribute to environmental security [1].

In Europe, renewable energy production is actively developing, driven by both ecological and economic factors. In EU countries, energy crops occupy 117,401 hectares. The largest areas are allocated to *Miscanthus* (24,620 ha), followed by poplar (20,691 ha) and willow (19,378 ha). The leaders in energy crop cultivation are Germany, Poland, Sweden, the United Kingdom, and Greece [2].

The European Union has set a goal to ensure 32% of energy comes from renewable sources by 2030 and to achieve full decarbonization by 2050. The focus is not only on solar and wind energy but also on biomass as a stable energy supply source. Biomass provides a significant share of renewable energy for heat production – about 80% [3]. In electricity production, biomass also plays a noticeable role, although competition is growing from wind and solar energy, which have great potential.

In the countries of the European Union, the main emphasis in cultivating energy crops is placed on the use of degraded, low-fertility lands unsuitable for traditional agricultural production. This approach not only reduces competition with food crops for fertile soils but also contributes to the ecological restoration of low-productivity territories, enhances biodiversity, and improves environmental conditions [4].

In Ukraine, significant areas of land have suffered degradation and contamination due to mining activities as well as the destructive impact of military actions. Before the full-scale war, the areas under *Miscanthus* cultivation exceeded 1,500 hectares, but many projects were suspended due to loss of access to land and threats to the safety of agricultural

producers. Under current post-war recovery conditions, interest in cultivating this crop is growing again. This is due to the need to restore degraded and contaminated territories, as well as the high potential of *Miscanthus* and other high-yielding perennial grasses as sources of sustainable energy and important tools for environmental restoration [5].

ECOLOGICAL BENEFITS OF *MISCANTHUS* CULTIVATION AND UTILIZATION

M×*g* is a high-yielding perennial energy crop that offers significant ecological and economic benefits throughout its life cycle, from cultivation to end-use.

Ecological Benefits. During its growth, *M*×*g* acts as an effective carbon sink. Its extensive root system sequesters atmospheric CO₂ and increases soil organic carbon, helping mitigate climate change. The crop thrives on marginal, degraded, or contaminated lands, requiring minimal agricultural inputs such as fertilizers, pesticides, and irrigation. This reduces the environmental footprint of its cultivation and promotes soil rehabilitation and erosion control. Its dense canopy also supports biodiversity by providing habitat for various species.

As a bioenergy feedstock, *Miscanthus* is considered carbon-neutral because the CO₂ emitted during biomass combustion is largely offset by the CO₂ absorbed during its growth. Its biomass can be converted into biofuels or biodegradable products, offering sustainable alternatives to fossil fuels and contributing to the circular bioeconomy.

Origin and Adaptability. *Miscanthus* originates from the temperate and subtropical zones of Southeast Asia, ranging from western India to Polynesia, with some species also found in Africa and the boreal zones of the Far East. It adapts well to diverse habitats and altitudes, showcasing significant adaptive potential. As a C4 plant, *Miscanthus* efficiently performs photosynthesis, leading to high biomass accumulation.

The crop's stem is strong and resistant to mechanical damage. It tolerates harsh weather conditions, overwintering well under precipi-

tation and strong winds. In natural settings, *Miscanthus* can grow over 2 meters tall [6].

Cultivation and Growth. The timing of rhizome harvesting is crucial for successful propagation. The best time is late July, when rhizomes have accumulated sufficient nutrients for regeneration. Young *Miscanthus* plants in their first year are sensitive to frost, so protection may be necessary in some cases. Thanks to their deep root systems, mature plants tolerate periodic drought and shading, and can grow in wetlands and waterlogged areas.

Hybrid Characteristics and Productivity. *M*×*g* is a hybrid between Chinese *Miscanthus* (*M. sinensis*, diploid) and sugar-flowered *Miscanthus* (*M. sacchariflorus*, tetraploid), first tested in Denmark. Under temperate climates, by the third year, its productivity ranges from 10 to 30 tons per hectare of dry biomass, with a calorific value between 14 and 17 MJ/kg. The productive lifespan of a *Miscanthus* plantation at one site can last up to 15 years. One ton of dry *Miscanthus* biomass is equivalent in energy to approximately 400 kg of crude oil. With a cost reduction to 49 euros per ton and yields of at least 18 tons per hectare, large-scale cultivation is economically feasible.

Efficiency and Soil Use. *Miscanthus* efficiently uses water, light, and nutrients. Unlike many other C4 plants, some *Miscanthus* species tolerate relatively cold climates. Trials across various climatic zones demonstrate that *M*×*g* is highly adaptable and productive. Importantly, plantations can be established on soils classified as IV, V, and VI classes according to the bonitation classification, meaning it can grow well on less fertile or degraded soils.

Growing *Miscanthus* on marginal, technogenically contaminated lands contributes not only to renewable energy production but also improves the ecological condition of agricultural landscapes. The crop's high biomass input from roots and post-harvest residues increases humic substances in the soil, enhancing soil fertility and structure. Additionally, long-term absence of soil cultivation during *Miscanthus* growth stabilizes

soil microbial communities, promoting soil formation processes.

Biomass and Bioenergy Applications. *Miscanthus* biomass is lignocellulosic, rich in carbohydrate polymers (cellulose and hemicellulose) and lignin, making it a promising feedstock for biofuel production. Conversion processes include production of heat, bio-oil, ethanol, methane, and hydrogen, playing a vital role in climate change mitigation [7].

Due to its low moisture and ash content, *Miscanthus* is especially suitable for thermochemical conversion technologies. Various pre-treatment methods (chemical, physicochemical, biological) are used to break down lignin and improve enzymatic degradation of cellulose, facilitating efficient biofuel production [8].

Besides biofuels, *Miscanthus* biomass is also utilized in paper production and chemical biorefineries for bioethanol. Its high cellulose and lignin content make it valuable for building materials, including lightweight panels with excellent thermal insulation and porosity compared to wood biomass. *Miscanthus* is also being explored in developing fire-retardant biocomposites and textile fibers. Its biomass is used as animal bedding due to its high natural absorbency and thermal properties, offering a cost-effective alternative to straw for farmers [9; 10].

THE ROLE OF *MISCANTHUS* IN SOIL RESTORATION AND PHYTOREMEDIATION

The ongoing military aggression by Russia has caused significant environmental damage in Ukraine, particularly widespread contamination of soils with heavy metals, pesticide residues, and other toxic substances. This pollution poses a serious threat to agricultural production, water quality, and ecosystem health, making soil restoration one of the country's top priorities in the process of post-war recovery and sustainable development. In this context, there is growing interest in cultivating high-yielding perennial grasses, especially species of the genus *Miscanthus*, which combine bioenergy potential with important environmental functions [10].

Phytoremediation Potential of *Miscanthus*. Phytoremediation is an eco-friendly technique that uses plants to remove, stabilize, or neutralize contaminants from soil, water, and air [11]. *Miscanthus* × *giganteus* (*M*×*g*) and related species have demonstrated high effectiveness in phytoremediation — the use of plants to clean up contaminated soils. These crops are capable of growing on degraded, marginal, and technogenically impacted lands, making them promising candidates for the reclamation of areas affected by industrial pollution or military activities.

One of the key advantages of *Miscanthus* is its ability to absorb and accumulate harmful substances, including heavy metals (e.g., lead, cadmium, zinc), oil products, and pesticide residues [12]. The plant takes up these toxicants through both its roots and aerial parts, reducing their mobility in the soil and thus lowering the risk of leaching into groundwater or entering the food chain. As a result, *Miscanthus* contributes to limiting environmental and public health risks.

The Role of Phytostabilization in Reducing Contaminant Mobility. Of particular interest is the plant's capacity for phytostabilization — the immobilization of contaminants in the soil in less soluble forms [13]. This reduces their bioavailability and prevents further spread via water or wind erosion. The extensive and dense root system of *Miscanthus* reinforces soil structure and binds toxic particles in place, significantly lowering their mobility in the environment [14].

This mechanism is especially effective in areas with complex contamination, where complete remediation is technically challenging or economically unfeasible. *Miscanthus* acts as a natural barrier, localizing pollution hotspots and allowing time for natural processes, including microbial degradation, to reduce toxicity.

Restoration of Soil Microbiota and Improvement of Soil Structure. In addition to binding contaminants, *Miscanthus* positively influences biological activity in the soil. Its root system releases organic compounds that serve as nutrients for soil microorganisms such as bacteria and fungi that play key roles

in the decomposition of toxic substances and the recovery of soil fertility.

These interactions contribute to the buildup of organic matter, enhance soil aggregation, improve moisture retention, and increase aeration. As a result, soils previously exposed to intense anthropogenic pressure gradually regain their ecological function.

Research Needs and Future Directions.

Despite the considerable potential of *Miscanthus* for phytoremediation, studies on its effectiveness under complex (multi-contaminant) pollution scenarios remain limited. The mechanisms of interaction between the plant and various pollutants, the long-term fate of accumulated substances in plant tissues, and environmentally safe methods for harvesting and utilizing contaminated biomass are still insufficiently understood.

Further research in these areas is essential for developing effective and safe practices for incorporating *Miscanthus* into land reclamation and ecological restoration programs.

UTILIZATION OF *MISCANTHUS* BIOMASS WASTE FOR BIOCHAR PRODUCTION

Miscanthus, as a perennial crop, is planted only once and provides an annual harvest for 10–20 years [15; 16]. After harvesting, some residues, such as leaves and rhizomes, can be processed and used as soil fertilizers. This also applies to *Miscanthus* waste generated during the processing of construction materials. Processing such waste allows its transformation into biochar — a carbon-rich product. Applying biochar to soil enhances crop yield due to its fertilizing properties and improves soil quality as a soil conditioner. Additionally, biochar can facilitate the remediation of soils contaminated with pesticides.

Biochar can also be produced from other raw materials such as agricultural residues, sewage sludge, forestry waste, and manure. It can be combined with various chemical substances like chitosan, zeolite, or magnesium-potassium-phosphate cement, which contributes to the immobilization of heavy metals and improve soil properties. *Miscanthus* as a raw material has a unique carbon

signature that differs from soil organic matter, and biochar derived from *Miscanthus* can act as a silicon fertilizer [17; 18].

To complete the value-added cycle in *Miscanthus* production, and its conversion into energy or other products, waste generated at various stages should be reintegrated into the production cycle. This ensures a sustainable approach to *Miscanthus* utilization and reduces costs. Recycling *Miscanthus* waste through pyrolysis to produce biochar and reusing it in agriculture will contribute to a zero-waste technology for cultivating and processing *Miscanthus*.

Miscanthus is an important biomass source for thermochemical processes, including pyrolysis. This is due to the high cellulose and lignin content in its stems, making it an optimal material for thermochemical treatment. With high bioproductivity (15 to 40 tons of dry biomass per hectare per year), *Miscanthus* can be used as an efficient source for producing biochar, which is gaining popularity in energy and environmental technology research [19].

There are various methods for biochar production, but the most common thermochemical processes are pyrolysis, hydrothermal carbonization (HTC), gasification, and torrefaction. The resulting product varies depending on the applied thermochemical technology, affecting changes in its properties such as pH, ash content, surface area, and physicochemical characteristics [20].

Biochar derived from *Miscanthus* has several beneficial properties, including high porosity, significant surface area, and the ability to adsorb various substances. This allows biochar to improve the physical and chemical characteristics of soils. For instance, biochar enhances soil structure, increases water retention capacity, boosts aeration, and reduces acidity, which is particularly important for agricultural lands experiencing erosion or degradation [21; 22].

Additionally, biochar that is produced from *Miscanthus* is resistant to mineralization, allowing it to retain carbon in soils for extended periods, thereby reducing greenhouse gas emissions. Its high adsorption proper-

ties enable biochar to purify water resources and soils from heavy metals and organic pollutants.

Using biochar to improve soil fertility is one of the most justified reasons for utilizing *Miscanthus* waste. Biochar increases the organic matter content in the soil, positively affecting the availability of macro- and micro-nutrients for plants. Moreover, biochar reduces soil erosion and enhances water retention, which is particularly vital in the context of climate change, where droughts are becoming more frequent [23].

One of the main advantages of using biochar in agriculture is reducing dependence on chemical fertilizers. Adding biochar to soil can decrease the need for synthetic fertilizers while improving soil structure and increasing the efficiency of nutrient uptake by plants.

The pyrolysis process of *Miscanthus* not only produces biochar but also generates gases and liquid products, which can serve as renewable energy sources. *Miscanthus* biochar can be used as fuel for generating heat or electricity, making this material promising for energy installations focused on renewable energy sources. Considering the need to reduce dependence on fossil fuels and decrease CO₂ emissions, using biochar as fuel is an important aspect of sustainable development [24].

Using biochar derived from *Miscanthus* offers significant environmental benefits. This material helps reduce greenhouse gas emissions by storing stable carbon in the soil. Moreover, applying biochar improves water and soil quality by reducing heavy metal and organic toxin pollution [25].

THE ROLE OF PLANT GROWTH REGULATORS AND BIOSTIMULANTS IN ENHANCING BIOMASS PRODUCTION AND PHYTOREMEDIATION EFFICIENCY

Previous work has demonstrated that combining plant biostimulants — ranging from classical growth regulators to arbuscular mycorrhizal fungi — with soil-improving additives can significantly enhance both phytoremediation efficiency and overall biomass yields. Plant growth regulators (PGRs) are

small natural or synthetic molecules that can trigger key physiological pathways and reveal latent genetic capacity at very low concentrations. When applied judiciously, PGRs become a pivotal lever for boosting yield and improving biomass characteristics for bioenergy. Their optimal type and dose vary by species and even by plant organ; they reshape physiological, morphological (e.g., root architecture, shoot mass), and metabolic traits. Because PGRs are often expensive, cutting production costs — usually by streamlining biotechnological synthesis—remains a major challenge [26–28].

Many commercial blends contain auxins, cytokinins, and gibberellins together with bioactive microbial metabolites. A notable microbial source is the fungi of *Cylindrocarpus* genus, recorded across Europe (e.g., Norway, the United Kingdom, France, Germany, Italy), North America (the USA, Canada), and Africa (Egypt). These fungi secrete indole-3-acetic acid, cytokinins, and gibberellins. The strain *Cylindrocarpus radicola* underpins several PGR formulations that promote growth by supplying phytohormones, amino acids, and fatty acids such as arachidonic acid.

Two such formulations, «Stimpo» and «Regoplant», derived from metabolites of *Cylindrocarpus obtusiusculus*, furnish auxin- and cytokinin-like substances together with essential fatty acids, amino acids, and polysaccharides. They enhance nutrient uptake, photosynthetic capacity, and stress tolerance while stimulating si/miRNA synthesis that enriches soil quality during the vegetative season. Perennial energy grasses — including *Miscanthus* spp. — respond particularly well to these PGRs [30].

Nebeská et al. [31] quantified the influence of «Stimpo» and «Regoplant» on *Miscanthus × giganteus* (*M×g*) grown on two military sites: nutrient-rich Dolyna (Ukraine) and nutrient-poor sandy Hradčany (the Czech Republic). In relatively more fertile Dolyna soil, PGR treatments, especially «Regoplant» applied to rhizomes before planting and via foliar sprays, significantly boosted biomass variables. In contrast, neither PGRs improved

yields in the low-nutrient Hradčany field. Elemental uptake also shifted with soil quality: in Dolyna soil, Cr and Pb remained mostly in roots, whereas Mn, Cu, Zn, and Sr were preferentially transferred to shoots under nutrient stress. These patterns underscore how soil properties modulate both biomass accumulation and metal partitioning, limiting the benefit of PGRs on poor military soils.

Pidlisnyuk et al. [32] extended this work to second-generation *M×g* over two seasons on a former tank-training ground. Using a multivariate general linear model, they assessed stem, shoot, and root lengths alongside dry biomass after treatments with Stimpo, Regoplant, and Charkor. Charkor produced the largest gains — especially in the second year — while Stimpo and Regoplant yielded moderate but still beneficial effects. Year of cultivation, choice of PGR, and their interaction were the dominant explanatory factors, stressing the need to integrate agronomic and environmental variables when deploying PGRs.

A separate study compared Kamethur and Charkor on *M×g* grown in trace-element-laden soils from Všebořice and Chomutov (the Northern Czech Republic). In heavily contaminated Všebořice soil, Kamethur raised leaf and stem biomass by 57.1% and 126%, respectively. Charkor, in contrast, lifted leaf biomass by 49.5% but reduced stem concentrations of essential elements (EEs) and potentially toxic elements (PTEs) by 33.3% and 11.4%, respectively. Kamethur lessened EE accumulation by 11.4% but increased PTE uptake by 23.3%. Hence, each PGR occupies a distinct niche: Kamethur maximizes biomass, whereas Charkor delivers cleaner stems suitable for downstream bioproducts.

CONCLUSIONS

This review provides a comprehensive analysis of the ecological, energy, and reclamation advantages of cultivating *Miscanthus × giganteus* on degraded and contaminated lands. It has been established that this high-yielding perennial crop combines exceptional bioenergy potential with strong phytoremediation capabilities, including the

uptake, accumulation, or stabilization of toxic elements.

Special attention is given to the role of plant growth regulators and biostimulants (Stimpo, Regopant, Charkor, Kametur), which, depending on soil type and contamination level, can significantly enhance biomass production and the efficiency of potentially toxic element extraction. The effects of these treatments are shown to be specific to soil texture and vegetation phase, underscoring the need for a tailored approach to bioremediation technologies.

For the first time in a review format, the following key aspects are synthesized:

- the integration of the energy and environmental potential of *Miscanthus* × *giganteus*;
- the application of biochar as a secondary product in the ecological remediation cycle;

- the influence of soil granulometric composition on contaminant bioavailability and the efficacy of growth regulators;
- the dynamics of heavy metal accumulation depending on the type of biostimulant, growing season, and plant organ.

The findings and synthesized knowledge confirm the study's objective—to provide a holistic assessment of *Miscanthus* × *giganteus* as a multifunctional crop for sustainable agriculture, bioenergy production, and ecological restoration of degraded areas. This synthesis constitutes a valuable contribution to the development of novel biotechnological strategies for post-war recovery.

Acknowledgement. This research was supported by the NATO Science for Peace and Security (SPS) Programme under Project G6094.

REFERENCES

- Hassan, Q., Viktor, P., Al-Musawi, T. J., Ali, B. M., Algburi, S., Alzoubi, H. M., ... Jaszczur, M. (2024). The renewable energy role in the global energy transformations. *Renewable Energy Focus*, 48, 100545. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ref.2024.100545>.
- Rădulescu, C. V., Angheluță, P. S., Burlacu, S., & Kant, A. (2022). Aspects regarding renewable sources in the European Union. *European Journal of Sustainable Development*, 11(3), 93. DOI: <https://doi.org/10.14207/ejsd.2022.v11n3p93>.
- Szarka, N., Lenz, V., & Thrän, D. (2019). The crucial role of biomass-based heat in a climate-friendly Germany — A scenario analysis. *Energy*, 186, 115859.
- Bertola, M., Magenau, E., Martani, E., Kontek, M., Ashman, C., Jurišić, V., ... Ferrarini, A. (2024). Early impacts of marginal land-use transition to *Miscanthus* on soil quality and soil carbon storage across Europe. *GCB Bioenergy*, 16(6), e13145.
- Katelevskiy, V. M., & Tsapko, Y. L. (2024). *Miscanthus* — a universal crop of today. *AgroChemistry and Soil Science*, 96, 52–57. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss96-06>.
- Ben Fradj, N., Rozakis, S., Borzecka, M., & Matyka, M. (2020). *Miscanthus* in the European bio-economy: A network analysis. *Industrial Crops and Products*, 148, 112281.
- Moll, L., Wever, C., Völkerling, G., & Pude, R. (2020). Increase of *Miscanthus* cultivation with new roles in materials production — A review. *Agronomy*, 10(2), 308. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10020308>.
- Zhao, J., Wang, D., Pidlisnyuk, V., & Erickson, L. E. (2021). *Miscanthus* biomass for alternative energy production. In L. E. Erickson & V. Pidlisnyuk (Eds.), *Phytotechnology with Biomass Production* (pp. 177–200). CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003082613-10>.
- Kvak, V., Stefanovska, T., Pidlisnyuk, V., Alasmay, Z., & Kharytonov, M. (2018). The long-term assessment of *Miscanthus* × *giganteus* cultivation in the Forest-Steppe zone of Ukraine. *INMATEH — CUPRINS*, 54(1).
- Boakye-Boaten, N. A., Kurkalova, L., Xiu, S., & Shahbazi, A. (2017). Techno-economic analysis for the biochemical conversion of *Miscanthus* × *giganteus* into bioethanol. *Biomass and Bioenergy*, 98, 85–94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.01.01>.
- Moklyachuk, L. I., Horodyska, I. M., & Lishchuk, A. M. (2017). Environmental technologies for the restoration of degraded soils in organic farming. *Agroecological Journal*, 2, 134–141. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220169>.
- Pidlisnyuk, V., Herts, A., Khomenchuk, V., Mamirova, A., Kononchuk, O., & Ust'ak, S. (2021). Dynamic of morphological and physiological parameters and variation of soil characteristics during *Miscanthus* × *giganteus* cultivation in the diesel-contaminated land. *Agronomy*, 11, 798.
- Pidlisnyuk, V., Trogl, J., Stefanovska, T., Shapoval, P., & Erickson, L. (2016). Preliminary results on growing second generation biofuel crop *Miscanthus* × *giganteus* at the polluted military site in Ukraine. *Nova Biotechnologica et Chimica*. DOI: <https://doi.org/10.1515/nbec-2016-0008>.
- Wang, C., Kong, Y., Hu, R., & Zhou, G. (2020). *Miscanthus*: A fast-growing crop for environmental remediation and biofuel production. *GCB Bioenergy*, 13, 58–69. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12761>.

15. Romantschuk, L., Matviichuk, N. H., Mozharivska, I., Matviichuk, B. V., Ustymenko, V., & Tryboi, O. (2024). Phytoremediation of soils by cultivation *Miscanthus* × *giganteus* L. and *Phalaris arundinacea* L. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 6(25), 173–147. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/186902>.
16. Gumentyk, M., & Kharytonov, M. (2018). Development and assessment of technologies of *Miscanthus* and switchgrass growing in Forest-steppe zone of Ukraine. *Agriculture and Forestry*, 64(2), 137–146. DOI: <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.64.2.10>.
17. Roik, M. V., Ganzhenko, O. M., & Goncharuk, G. S. (2020). Influence of perennial bioenergy crops on the restoration of soil fertility. *Bioenergy*, 2, 4–6.
18. Pidlisnyuk, V., Newton, R. A., & Mamirova, A. (2021). *Miscanthus* biochar value chain — A review. *Journal of Environmental Management*, 290, 112611. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112611>.
19. Jung, W., Savithri, D., Sharma-Shivappa, R., & Kolar, P. (2020). Effect of sodium hydroxide pretreatment on lignin monomeric components of *Miscanthus* × *giganteus* and enzymatic hydrolysis. *Waste and Biomass Valorization*, 11, 5891–5900. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00859-8>.
20. Mierzwa-Hersztek, M., Gondek, K., Klimkowicz-Pawlas, A., & Baran, A. (2017). Effect of wheat and *Miscanthus* straw biochars on soil enzymatic activity, ecotoxicity, and plant yield. *International Agrophysics*, 31(3). DOI: <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0001>.
21. Wang, L., Liu, X., Wang, Y., Wang, X., Liu, J., Li, T., ... Li, S. (2023). Stability and ecological risk assessment of nickel (Ni) in phytoremediation-derived biochar. *Science of The Total Environment*, 903, 166498. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166498>.
22. Kavitha, B., Reddy, P. V. L., Kim, B., Lee, S. S., Pandey, S. K., & Kim, K.-H. (2018). Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. *Journal of Environmental Management*, 227, 146–154. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.082>.
23. Shaaban, M., Van Zwieten, L., Bashir, S., Younas, A., Núñez-Delgado, A., Chhajro, M. A., ... Mehmood, M. A. (2018). A concise review of biochar application to agricultural soils to improve soil conditions and fight pollution. *Journal of Environmental Management*, 228, 429–440. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.006>.
24. Wang, Q., Wang, B., Lee, X., Lehmann, J., & Gao, B. (2018). Sorption and desorption of Pb (II) to biochar as affected by oxidation and pH. *Science of the Total Environment*, 634, 188–194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018>.
25. Głab, T., Palmowska, J., Zaleski, T., & Gondek, K. (2016). Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma*, 281, 11–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.06.015>.
26. Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scientia.2015.09.021>.
27. Sharma, S. (2017). Plant hormones synthesized by microorganisms and their role in biofertilizer-A. *International Journal of Advance Research*, 5, 1753–1763. DOI: <https://doi.org/10.21474/IJAR01/6144>.
28. Cerna-Chávez, E., Rodríguez-Rodríguez, J. F., García-Conde, K. B., & Ochoa-Fuentes, Y. M. (2024). Potential of *Streptomyces avermitilis*: A review on avermectin production and its biocidal effect. *Metabolites*, 14(7), 374. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.12.070>.
29. Boutahiri, S., Benr'Kia, R., Tembeni, B., Idowu, O. E., & Olatunji, O. J. (2024). Effect of biostimulants on the chemical profile of food crops under normal and abiotic stress conditions. *Current Plant Biology*, 100410.
30. Katelevsky, V. M. (2020). Effectiveness of foliar treatment with plant growth regulators on biomass parameters of *Miscanthus*. *Agrology*, 3(1), 19–24.
31. Nebeská, D., Pidlisnyuk, V., Stefanovska, T., Trögl, J., Shapoval, P., Popelka, J., ... Malinská, H. (2019). Impact of plant growth regulators and soil properties on *Miscanthus* × *giganteus* biomass parameters and uptake of metals in military soils. *Reviews on Environmental Health*, 34(3), 283–291. DOI: <https://doi.org/10.1515/reveh-2018-0088>.
32. Pidlisnyuk, V., Stefanovska, T., Zhukov, O., Medkov, A., Shapoval, P., Stadnik, V., & Sozanskyi, M. (2022). Impact of plant growth regulators to development of the second generation energy crop *Miscanthus* × *giganteus* produced two years in marginal post-military soil. *Applied Sciences*, 12(2), 881. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12020881>.
33. Pidlisnyuk, V., Mamirova, A., Newton, R. A., Stefanovska, T., Zhukov, O., Tsygankova, V., & Shapoval, P. (2022). The role of plant growth regulators in *Miscanthus* × *giganteus* growth on trace elements-contaminated soils. *Agronomy*, 12(12), 2999. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy>.

Стаття надійшла до редакції журналу 15.06.2025

ДЕСТРУКТИВНІ ЧИННИКИ ТА ПЕРЕШКОДИ У ПРОЦЕСАХ СТРУКТУРИЗАЦІЇ Й ФОРМУВАННЯ МЕХАНІЗМУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АГРОСЕКТОРУ

М.Я. Височанська, О.Г. Гурін

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

e-mail: mariya_vysochanska@ukr.net; ORCID: 0000-0003-2116-9991

e-mail: hurin.oleksandr@gmail.com; ORCID: 0009-0004-3601-5287

У статті здійснено комплексний аналіз деструктивних чинників, перешкод і системних загроз, що ускладнюють процеси структуризації та формування сучасного організаційно-економічного механізму енергоефективності в аграрному секторі України. Ідентифіковано п'ять ключових груп бар'єрів (інституційні, економічні, технологічно-кадрові, соціо-просторові та військово-економічні) та розкрито їхній диференційований вплив у воєнному і повоєнному періодах. Здійснено причинно-наслідкове групування загроз, побудовано порівняльну таблицю вагомості їхнього впливу на різних етапах трансформації національного агросектору, а також сформовано сценарні підходи до нейтралізації виявлених дисфункцій. Обґрунтовано доцільність поетапного стратегічного планування та впровадження інструментів організаційно-економічного механізму енергоефективності з урахуванням гібридного стану економіки і викликів безпекового, ресурсного й соціального характеру в аграрному секторі. Сформовано матрицю причинно-наслідкових взаємозв'язків загроз та перешкод формуванню механізму енергоефективності в агросекторі України, яка допомагає візуалізувати ключові чинники впливу та їхню взаємозалежність. Цей інструмент дає змогу прогнозувати каскадні ефекти від реалізації різних ризиків та обґрунтувати пріоритетні напрями їхньої нейтралізації з урахуванням динаміки воєнних та повоєнних умов. Запропоновані дослідниками організаційно-економічні рішення мають прикладне значення для органів державного управління, місцевих громад, аграрних підприємств та інституційної науки. Визначено сценарні підходи до нейтралізації перешкод і загроз процесам формування організаційно-економічного механізму енергоефективності (ОЕМЕЕ) агросектору України. Вони базуються на комплексному аналізі причинно-наслідкових зв'язків між ключовими чинниками впливу та враховують специфіку функціонування аграрного виробництва в умовах воєнного стану. Рекомендовані сценарії передбачають диференційовані заходи втручання, що дають можливість мінімізувати ризики та забезпечити поступальний розвиток енергоефективних практик у довгостроковій перспективі. Розроблені організаційно-економічні рішення спрямовані на підвищення енергоефективності та можуть бути корисними для органів влади, аграрних підприємств і наукових інституцій у процесі відбудови та модернізації галузі.

Ключові слова: енергетична політика організаційно-економічний механізм, воєнні ризики, стратегічне планування, агровиробництво, збалансований розвиток, інституційне середовище, зміна клімату, раціональне природокористування.

ВСТУП

Об'єктивним є визнати, що сталий розвиток аграрної сфери України потребує інтеграції ефективної енергетичної політики у систему національної політики сталого господарювання, однак її реалізація на практиці ускладнюється багаторівневими бар'єрами й перешкодами. З одного боку, крім військово-політичних, мають місце істотні економічні перепони: висо-

ка вартість енергоефективних технологій, нестача фінансування, слабкий доступ до кредитів та субсидій. З іншого — інституційні обмеження, такі як: неузгодженість національного законодавства в енергетичній сфері, відсутність стабільного нормативно-правового середовища, складна система регуляторного стимулювання, тощо. Крім того, маємо вказати, що існують й адміністративні та освітні бар'єри, які обмежують впровадження і реалізацію

дії *організаційно-економічного механізму енергоефективності* (ОЕМЕЕ). А, саме: нестача кваліфікації спеціалістів, низький рівень енергетичної свідомості фермерів і аграрних менеджерів, обмеження передачі передового досвіду. Додаткову складність створюють і технологічні виклики: критичне спрацювання обладнання, відсутність інфраструктури для розподіленої генерації, слабка інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в аграрні ланцюги, особливо у постконфліктних регіонах [1]. Тому, протистояння цим перешкодам потребує системно-комплексного підходу, який врахує глибокі структурні дисфункції на макро-, мезо- та мікрорівнях. Виокремлення деструктивних чинників у процесах побудови, структурування і формування дієвого ОЕМЕЕ, від дефіциту координації стратегій до розриву інформаційних каналів, слугує ключем до розробки комплексних рішень за методикою [2], що, з урахуванням сучасних викликів (воєнних, ресурсних, екологічних), забезпечить ефективне функціонування механізму в агросекторі України.

Саме тому, **метою статті** є виявлення та систематизація деструктивних чинників і дисфункцій, які гальмують формування організаційно-економічного механізму енергоефективності в агросекторі, що передбачає нагальність виконання комплексного аналізу слабких ланок сучасної управлінської системи з урахуванням внутрішніх обмежень і зовнішніх ризиків, аби підготувати прогностичні засоби й рекомендації задля подолання існуючих дисфункцій, перешкод, ризиків і загроз сталому господарюванню аграрної сфери України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблематика підвищення рівня *енергоефективності* (ЕЕ) в аграрному секторі України набула особливої актуальності в умовах сучасних викликів, пов'язаних із енергетичною кризою, широкомасштабною і воєнною агресією РФ проти України, зміною клімату та необхідністю трансформації національної економіки до моделі ста-

лого розвитку. Так, у роботах вітчизняних і зарубіжних науковців та практиків, зокрема О. Бородини, Б. Круглик, Brandão Jr. A Jr., Rausch L., Paz Durán A., Costa Jr. C. Jr., Spawn S.A., Gibbs H.K. [3–5] окреслено й розкрито загальні принципи раціоналізації використання енергоресурсів в аграрному виробництві, обґрунтовано потенціал впровадження альтернативної енергетики, розкрито економічну доцільність оптимізації енерговитрат. У дослідженнях окремих українських авторів Д. Грабовського, Є. Кривохижі, С. Башлай, Ю. Курило, О. Шпикуляк, І. Білокіної [6–8] проаналізовано інституційні передумови й політичні орієнтири енергомодернізації сільського господарства, зокрема, через призму євроінтеграційних стандартів. Значна увага у сучасних дослідженнях приділяється пошуку фінансово-кредитних, інноваційних, екологічних та управлінських механізмів стимулювання енергоефективності агропідприємств, а також і терміновому вирішенню проблем адаптації аграрної політики до викликів енергетичній безпеці: К. Прокопенко та Л. Удова, М. Ромащенко, Р. Сайдак, М. Яцюк, L. Biagini та J.T. Saunders [9–12].

Утім у сучасному науковому дискурсі відчутним є брак системних досліджень, які б охоплювали сукупність деструктивних чинників і бар'єрів, що ускладнюють процеси структурування, формування та реалізації дії комплексного механізму енергоефективності в агросекторі. Крім того, у розробках недостатньо формалізовано вплив інституційної нестабільності, фрагментарності регуляторної політики, дефіциту інвестиційних ресурсів, нерівномірності доступу до енергоощадних технологій та соціо-еколого-економічної вразливості аграрних територій. Саме ці аспекти і становлять визначальний фокус даного дослідження.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методологічну основу цього науково-прикладного дослідження становить системний підхід до вивчення деструктивних

чинників та бар'єрів у формуванні механізмів енергоефективності в аграрному секторі. Авторами у статті застосовано поєднання якісних і кількісних методів аналізу для комплексної оцінки структурних, інституційних, економічних та технологічних аспектів проблематики. А, саме: а) методи порівняльного аналізу для зіставлення рівнів енергоефективності та структурних диспропорцій в агросекторі України та країн ЄС; б) структурно-функціональний підхід для розкриття внутрішніх взаємозв'язків між інституційними, ресурсними та технологічними компонентами енергоефективності; в) експертне оцінювання для ідентифікації ключових бар'єрів впровадження енергоощадних рішень; г) SWOT-аналіз із метою виокремлення сильних і слабких сторін існуючої політики енергоефективності в агросекторі та виявлення загроз і можливостей для її трансформації; д) елементи контент-аналізу для опрацювання наукових публікацій, стратегічних документів, аналітичних звітів, нормативно-правової бази у сфері сільського господарства та ЕЕ; ж) індикативне моделювання для побудови умовного профілю деструктивних чинників, які наразі блокують та ускладнюють структурування організаційно-економічного механізму енергоефективності на різних рівнях (мікро-, мезо- та макроекономічному). Емпіричну базу дослідження становлять статистичні дані Державної служби статистики України, профільні звіти Мінагрополітики України, матеріали аналітичних центрів, а також дані авторських експертних опитувань агровиробників щодо існування бар'єрів енергомодернізації у 2022–2024 рр.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

В умовах сучасних викликів (кліматичної нестабільності, зростання енергетичних витрат, руйнування агроструктури через збройні конфлікти та її знищення на окупованих територіях) реалізація дії механізму забезпечення ЕЕ в аграрному секторі України виходить на головний

план. Попередні дослідження й розробки свідчать про те, що успішна енергоощадна політика залежить не лише від технологічних рішень, але й від дієвої її організаційно-економічної моделі, здатної адаптуватися до соціально-економічних перепон, ризиків та загроз сталому розвитку і господарюванню. Наразі, в Україні, має місце низка системних бар'єрів і перешкод (відсутність інституційної підтримки, фінансових стимулів, слабка технологічна інфраструктура, недостатня обізнаність учасників як фермерських господарств і кооперативів, так і місцевої влади), а їх існування зумовлює високу ймовірність дисфункцій під час структуризації та формуванні OEMEE, особливо в умовах війни та повоєнного відновлення. Зазначимо, що на нинішньому етапі відновлення, реабілітації й трансформації аграрної сфери України особливого значення набуває проблема нагального формування дієвого OEMEE. Втім, зазначений процес ускладнюється низкою системних бар'єрів, які мають як зовнішнє (геополітичне, макроекономічне), так і внутрішнє (структурно-інституційне, суспільно-політичне) походження. Зокрема, ключовими інституційними перешкодами постають фрагментарність державної політики в сфері ЕЕ сільського господарства під час війни, відсутність координації між профільними міністерствами, нестабільність нормативно-правової бази та слабкий рівень адаптації аграрного законодавства до вимог ЄС. Ці чинники істотно знижують мотивацію агровиробників до впровадження енергоощадних рішень та унеможливають цілісне структурування механізму енерго-модернізації.

Другою групою деструктивних чинників є економічні бар'єри, серед яких домінують такі як: обмеженість фінансових ресурсів аграрних суб'єктів господарювання, низька інвестиційна привабливість агросектору, обмежений доступ до кредитування та недостатня поширеність фінансових інструментів енергомодернізації (лізинг, «зелені облігації», модель інвестицій в енергоефективності (ЕСКО-механізми) тощо). Отже, в умовах високої вартості енергоощадних

технологій та тривалого терміну окупності таких інноваційних проєктів, малі й середні агропідприємства залишаються фактично виключеними з процесів технологічного оновлення та модернізації, а також відбудови внаслідок їхнього руйнування. Водночас, економічні ризики посилюються нестабільністю валютного курсу, ризиками інфляції та корупційними складовими, а також непередбачуваними коливаннями цін на ринку енергоресурсів, що вкрай ускладнює довгострокове планування і прогнозування енергетичних витрат аграрними виробниками.

Слід виокремити технологічно-кадрові та соціо-просторові загрози, що формують інші групи критичних перешкод. Адже в національному агросекторі спостерігається низький рівень технологічної культури енергоспоживання, спрацьованість основних виробничих фондів, обмежений доступ до інноваційних рішень, а також кадровий дефіцит фахівців із компетенціями в галузі енергоефективного менеджменту. Додатково ситуацію ускладнює просторово-структурна асиметрія: віддалені та постраждали від війни аграрні регіони мають дуже слабкий потенціал до впровадження

енергоощадних стратегій через деградацію інфраструктури, втрату людського капіталу та низький рівень цифровізації. Сукупність зазначених чинників гальмує процес структуризації процесів ЕЕ як стратегічного напрямку модернізації аграрного виробництва та вимагає комплексного інституційного реагування.

З метою системного окреслення ключових викликів, які гальмують структуризацію та впровадження на практиці дієвого OEMEE в аграрному секторі України, дослідниками проведено типологізацію й багатовимірне групування деструктивних чинників. У результаті аналітичного узагальнення наявних досліджень, емпіричних даних та експертних оцінок [1–3; 13–15] ідентифіковано п'ять базових груп перешкод і системних бар'єрів: інституційні, економічні, технологічно-кадрові, соціо-просторові та військово-економічні. Кожна, з приведених у *табл. 1* дисфункціональних груп, характеризується власним набором гальмівних чинників, які генерують негативні ефекти не лише ізольовано, але й через взаємозумовленість із іншими групами загроз та перешкод. Для більшої наочності та аргументованості здійснено

Таблиця 1. Матриця причинно-наслідкових взаємозв'язків загроз та перешкод формуванню механізму енергоефективності в агросекторі України

Група загроз / перешкод	Ключові чинники (первинні причини)	Наслідки для формування дієвого механізму ЕЕ
1. Інституційні	Відсутність узгодженої державної політики ЕЕ. Нестабільність регулювання. Слабка міжвідомча координація. Недостатня інтеграція з європейськими практиками	Деструктуризація управлінських рішень. Неможливість формування єдиної дорожньої карти. Недовіра агровиробників до використовуваних механізмів підтримки
2. Економічні	Відсутність доступного й достатнього обсягу фінансування. Недостатня інвестиційна привабливість. Висока вартість ЕЕ технологій. Відсутність ринку «зелених» фінансових інструментів	Інертність аграрного бізнесу до модернізації й реконструкції. Відмова малих і середніх агропідприємств (МСП) від енергомодернізації. Посилення енергозалежності агрогосподарств
3. Технологічно-кадрові	Спрацьованість матеріально-технічної бази. Відсутність кваліфікованих кадрів. Низький рівень цифрової інтеграції. Відсутність знань із енергоменеджменту та екологізації	Низький рівень впровадження smart-рішень і технологій. Розрив між агровиробництвом і наукою. Збереження енерговитратної структури агрогосподарств

Група загроз / перешкод	Ключові чинники (первинні причини)	Наслідки для формування дієвого механізму ЕЕ
4. Соціо-просторові	Відтік населення з сільських територій. Низька здатність громад до стратегування. Просторова асиметрія розвитку. Руйнування інфраструктури в прикордонних і деокупованих зонах	Відсутність точок зростання на рівні об'єднаних територіальних громад (ОТГ). Немоżliвість реалізації програм енергомодернізації на місцях. Втрата людського капіталу, релокація агропідприємств
5. Військово-економічні	Знищення аграрної інфраструктури. Мінування угідь, обмеження доступу до полів. Зниження експортного потенціалу. Перенаправлення державного фінансування на безпеку	Переорієнтація національної та регіональних політик із локалізації зусиль на цілеорієнтованому розвитку — на виживання. Призупинення проєктів модернізації. Поглиблення енергонестабільності регіонів

Примітка: сформовано за врахування напрацювань [1–3; 13–15].

їх групування у форматі побудови матриці причинно-наслідкових зв'язків, яка демонструє внутрішню логіку впливу цих перешкод на процеси формування й реалізації дієвого механізму енергоефективності в межах національної агросфери.

Представлена матриця (див. *табл. 1*) допомагає виявити не лише спектр основних деструктивних чинників, але й простежити їх міжгрупову взаємозалежність та кумулятивний ефект у контексті деформації процесів енергомодернізації національного агросектору. Особливо загрозливою, на авторське переконання, виявляється взаємодія військово-економічних і соціопросторових дисфункцій, які призводять до структурного розбалансування аграрного виробництва на рівні територій та унеможливають реалізацію довгострокових політик ЕЕ, взагалі. З огляду на складність і багаторівневий характер виявлених перешкод, доцільним є подальший поглиблений аналіз вагомості впливу кожної з ідентифікованих груп дисфункцій. Зазначене дасть можливість сформулювати обґрунтовану послідовність управлінських рішень, пріоритезувати інституційні та фінансові інтервенції, а також розробити адаптивну архітектуру ОЕМЕЕ із урахуванням гібридного стану економіки України, безпекових викликів і потреб просторової реконструкції аграрних територій. Матриця також ілюструє, що більшість із подано-

го переліку перешкод мають системний взаємозалежний характер, тобто одна група чинників активує як тригер та підсилює іншу. Так, наприклад, військово-економічні ризики постають тригером поглиблення всіх інших груп загроз, унеможливаючи сталу трансформацію національного агросектору як на етапі воєнного, так і повоєнного періодів. Це вимагає від національної політики інтегрованого сценарного підходу до структуризації механізмів ЕЕ із урахуванням гібридних деструктивних ознак соціально-економічної системи.

Маємо визнати, що під час воєнного періоду інституційні дисфункції проявляються у вигляді дезінтеграції політик, фрагментарності нормативно-правового забезпечення та слабкої координації між органами виконавчої влади. Адже в умовах надзвичайної безпекової ситуації аграрна політика переважно зміщується у бік екстреної підтримки виробництва та забезпечення продовольчої безпеки, що витісняє питання ЕЕ з порядку денного. Тому, відсутність чіткої інституційної рамки ускладнює структуризацію сучасного ОЕМЕЕ як багаторівневої системи управління, а також гальмує започаткування нових інструментів стимулювання модернізації. А, у повоєнному періоді, ці дисфункції можуть трансформуватись у хаотичність управлінських дій за відсутності стратегічного планування та узгоджених міжгалузевих пріоритетів.

Що стосується економічних бар'єрів, які є загостреними під час війни, то вони виявляються через дефіцит інвестиційних ресурсів, зниження платоспроможності агровиробників, скорочення банківського кредитування та переорієнтацію державного фінансування на оборонну сферу. Це робить неможливим розгортання енергомодернізаційних проєктів, особливо для *малих і середніх агропідприємств* (МСП). У повоєнному періоді — ситуація частково стабілізується, однак без цільових програм стимулювання ЕЕ рішень і технологій, пільгових умов інвестування та інтеграції з міжнародними фінансовими інструментами, економічні бар'єри можуть залишатися хронічними, продовжуючи стримувати формування аграрного ОЕМЕЕ.

У структурному вимірі — саме технологічно-кадрові та соціо-просторові чинники формують стійкі обмеження як у воєнному, так і у повоєнному періодах. Адже під час війни відбувається масова руйнація технічної інфраструктури, евакуація та мобілізація кадрів, зниження доступу до технологій і сервісів. Однак у багатьох територіальних громадах брак фахівців, здатних запроваджувати та обслуговувати енергоощадні системи, а також відсутні й достатні умови для залучення інновацій. У повоєнному періоді — зберігається загроза територіальної асиметрії, коли лише окремі регіони (з достатнім людським капіталом та інфраструктурною відновленістю) зможуть вводити механізми ОЕМЕЕ, у той час — як інші залишатимуться в зоні енергетичного відставання.

І, нарешті, військово-економічні загрози й дисфункції виявляють себе як найбільш руйнівна група перешкод у воєнний період. Масштабні руйнування аграрних об'єктів, мінування територій, знищення енергетичної та логістичної інфраструктури, а також порушення експортних ланцюгів — повністю нівелюють можливість довгострокового структурування ЕЕ. У післявоєнному періоді — ці загрози трансформуються у потребу відновлення вже «з самого нуля» (без попереднього фундаменту для механізмів ЕЕ). Зазначене

підвищуватиме масштаби ризику відтворення неефективних та енерговитратних технологій, якщо не буде вчасно інтегровано відповідні компоненти ОЕМЕЕ у стратегії відновлення. Тому, військово-економічний вимір має стратегічну вагу у визначенні сценаріїв просторової трансформації агросектору.

Отже, зважаючи на критичну важливість аграрного сектору як основи продовольчої безпеки, експортного потенціалу та стабільності внутрішнього ринку України, особливо в умовах війни та в період відбудови країни, виникає потреба у ретельному системному вивченні деструктивних чинників, що ускладнюють структурування та формування ОЕМЕЕ галузі. Поглиблений аналіз впливу п'яти ключових груп загроз і перешкод допомагає виокремити диференційовані виклики, які трансформуються залежно від стадії воєнного чи повоєнного розвитку, та вимагають відповідного стратегічного реагування й нівелювання загроз. Наведена нижче порівняльна *табл. 2* є спробою інтегративної систематизації цих загроз і обґрунтування управлінських орієнтирів задля формування адаптивної структурно-функціональної моделі сучасного ОЕМЕЕ в агросекторі [14].

Тому, з огляду на дані, які систематизовано у *табл. 2*, зазначимо, що у контексті стратегічного планування й стратегування діяльності суб'єктів управління: а) у воєнному періоді — необхідними є використання інструментарію антикризового менеджменту, мобілізація резервів, спрощення процедур, мінімізація залежностей; б) у повоєнному періоді — має бути використаний стратегічний фокус, який зміщується до інституційної реконструкції, цільового фінансування, інноваційної трансформації агросектору; в) щодо усіх п'яти груп перешкод — слід суб'єктам управління інтегрувати та формалізувати ці дисфункції у ризик-профіль та побудувати матрицю пріоритетів під час планування політик і програм енергоефективності.

Отже, в умовах гібридної війни, тотального ресурсного виснаження та соціо-еколого-економічних диспропорцій аграрного

Таблиця 2. Порівняльна таблиця впливу п'яти груп загроз і перешкод на формування OEMEE національного агросектору

Група загроз / перешкод	Воєнний період	Повоєнний період	Стратегічне значення / адаптація
1. Інституційні дисфункції	Руйнування вертикалі управління, втрата регуляторного контролю, фрагментація енергетичної політики на місцях	Неузгодженість між рівнями влади, недостатність адаптивних норм для нових умов, конфліктність повноважень	Потреба у створенні адаптивної інституційної платформи з чіткими повноваженнями, децентралізацією та цифровізацією
2. Системна розбалансованість ресурсного забезпечення	Брак пального, електроенергії, води, дефіцит персоналу, порушення логістики, руйнування інфраструктури	Нерівномірність постачання, залежність від імпорту, складнощі з оновленням парку техніки та устаткування	Необхідність ресурсної реорганізації та запровадження принципів циркулярної економіки з акцентом на енергоощадність
3. Економічні бар'єри та регуляторна турбулентність	Деструкція податкової системи, втеча капіталів, ризики інвестицій, високі трансакційні витрати	Тривала невизначеність щодо дотацій, субсидій, нестабільна регуляторна політика, непрозорість процедур	Формування прогнозованої нормативної рамки для інвестицій у «зелену» енергетику, смарт-технології та ЕЕ
4. Технологічно-кадрові втрати	Руйнування інфраструктури, втрата висококваліфікованих працівників, вивезення обладнання та його релокація	Повільне відновлення людського капіталу, потреба у перекваліфікації, дефіцит спеціалістів у сфері ЕЕ.	Необхідність програм навчання та підтримки молоді й залучення інновацій через державно-приватне партнерство (ДПП)
5. Військово-економічні загрози	Постійні атаки, мінування територій, ризики для інфраструктури, втрата експорту, обмеження логістики	Наявність руйнувань, екозабруднень, психологічна втома, репатріація працівників, дефіцит захисної інфраструктури	Включення ризик-орієнтованого підходу в стратегічне планування: сценарії стійкості, адаптації та трансформації

Примітка: визначено, сформульовано та систематизовано у табличному вигляді авторами.

простору України формування OEMEE агросектору стикається із системними загрозами й перешкодами. Їхній вплив не лише ускладнює запуск модернізаційних процесів, а й призводить до хаотичної втрати можливостей щодо відновлення базових функцій національного агровиробництва. Саме тому стратегічно необхідним є вивчення потенціалу сценарного реагування на кожну з п'яти груп перешкод, з урахуванням чинників деструктивної динаміки, відповідальних суб'єктів, інструментарію реагування та оновлюваності підходів до нейтралізації загроз. На авторське переконання, розробка сценарних підходів

має ґрунтуватися на принципах адаптивності, превентивності, відповідальності та інституційної узгодженості. Отже, це означає, що управлінські рішення мають бути диференційованими за часовими горизонтами дії, можливостями швидкої корекції методів впливу, а також рівнем залучення ключових акторів (тобто, як від органів державного управління, так і від локальних громад і бізнес-структур). Представлена узагальнена *табл. 3* систематизує та визначає основні сценарні моделі подолання перешкод і загроз у процесі структурування та реалізації дії OEMEE в аграрному секторі, що є критично важливим для по-

Таблиця 3. Сценарні підходи до нейтралізації перешкод і загроз процесам формування OEMEE агросектору України

Група загроз / перешкод	Сценарний підхід до нейтралізації	Інструментарій впровадження	Відповідальні суб'єкти управління	Терміни оновлення методів елімінування й упередження
1. Інституційно-нормативні бар'єри	Формування гнучкої регуляторної рамки з адаптивним підходом	Регуляторний сандбокс.* Платформи міжвідомчої координації. Цифрова паспортизація ЕЕ практик	Мінекономіки. Держенергоефективності. МінАПК. Комітет ВРУ з аграрної та енергетичної політики	Щороку, з переглядом після кожного воєнного чи економічного циклу
2. Кадрово-організаційні деформації	Побудова мережевого кадрового резерву з фокусом на енергоменеджмент	Програми перепідготовки. Центри енергоосвітньої експертизи. Сертифікація фахівців із OEMEE	МОН. Агроуніверситети. Територіальні громади та агроасоціації	Раз на три роки, з проміжним моніторингом — щороку
3. Технологічно-ресурсні диспропорції	Прискорене оновлення парку енергоощадних технологій на основі ДПП	Грантово-інвестиційні платформи. Агроенергетичні хаби. Реєстри відновлюваних ресурсів	МінАПК. Агropідприємства. Торгово-промислові палати	Раз на два роки чи відповідно до життєвого циклу певних ЕЕ чи смарт-технологій
4. Логістично-інфраструктурні уразливості	Реорганізація логістичних ланцюгів за принципом енергододільності	Децентралізовані моделі транспортування. Енергоаудит інфраструктури. Сценарне моделювання інфраструктурних загроз	Мінінфраструктури. Укразлізніння. Агрохолдинги. Місцеве самоврядування	Раз на п'ять років або ж після зміни логістичних маршрутів
5. Соціально-когнітивні перекоси	Впровадження системи агроенергетичної просвіти та комунікації	Платформи відкритої науки. Кампанії з енергоусвідомлення. Інструменти у площині кардинальної зміни поведінкових моделей	Громадські організації. Академічні установи. Територіальні громади. Медіа	Щопівроку з урахуванням динаміки та зміни соціальних запитів

* Це спеціальний правовий або інституційний режим, який дозволяє компаніям (зазвичай, інноваційним та фінтех-компаніям) тестувати нові продукти, послуги, бізнес-моделі чи технології в реальному середовищі, але з певними регуляторними послабленнями чи винятками, погодженими з національними наглядовими органами. Тож: а) пілотні проекти тестуються в обмежені терміни; б) учасники взаємодіють із наглядовими органами (наприклад, Нацбанк, Комісія з цінних паперів, тощо); в) проекти проводяться на обмеженій кількості користувачів або в обмеженій території; г) учасники мають визначений порядок дій у разі порушень, збитків, тощо; д) за підсумками тесту оцінюється: чи потрібно змінювати регулювання, взагалі.

Примітка: сформульовано, обгрунтовано та систематизовано авторами дослідження за урахування [4; 9; 11; 15].

силення стійкості національного агрови-
робництва у повоєнному періоді.

З огляду на дані *табл. 3*, маємо зазна-
чити, що результати сценарного аналізу
допомагають виокремити стратегічно до-
цільні вектори дій для ефективної нейт-
ралізації чинників загроз і перешкод, які
стримують формування обґрунтованої та
дієвої організаційно-економічної моделі ЕЕ
агросектору України. Зокрема, акцент ав-
торами статті зроблено на інтеграції адап-
тивного управління, нормативного реагу-
вання, інформаційно-комунікаційних пе-
ретворень, системного партнерства та фін-
ансово-інвестиційної мобілізації — як на
ключових умовах упередження руйнівних
впливів та нарощування потенціалу ста-
лого агровиробництва в Україні. Запро-
поновані сценарні підходи орієнтовані на
проактивне управління трансформацією
агросектору з урахуванням міжсектораль-
ної взаємодії та динаміки зовнішніх і вну-
трішніх викликів. Їх реалізація відповідно
потребує: а) узгоджених дій відповідаль-
них суб'єктів державного, регіонального,
галузевого та локального рівнів управлін-
ня; б) регулярного оновлення інструмента-
рію реагування; в) впровадження моніто-
рингових і аналітичних механізмів оцінки
ефективності обраних сценаріїв підвищен-
ня ЕЕ. Такий підхід формує сталу осно-
ву для стійкої модернізації агросектору,
що відповідає як національним пріорите-
там, так і глобальним вимогам енергетич-
ної безпеки та екологічної відповідаль-
ності.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження
встановлено, що процеси структурування
й формування організаційно-економічного
механізму енергоефективності в агросекто-
рі України наразі перебувають під значним
впливом багатовекторних деструктивних
чинників, які утворюють потужне поле пе-
решкод і реальних загроз. Ідентифіковано
п'ять ключових груп системних бар'єрів
(інституційні, економічні, технологічно-
кадрові, соціо-просторові та військово-
економічні), що створюють критичні дис-

функції на рівні управлінських рішень,
розподілу ресурсів, відновлення інфра-
структури, інноваційного забезпечення та
безпекового захисту аграрного виробниц-
тва. Ці чинники мають різну інтенсивність
впливу на етапах воєнного та повоєнного
циклів, що вимагає адаптивного сценарно-
го підходу до їхнього подолання й елімі-
нування. Визначено, що підхід до запро-
вадження сучасного ОЕМЕЕ має врахову-
вати не лише технічні чи фінансові умови,
а й більш ширший контекст соціо-еколо-
гічної спроможності, територіального по-
тенціалу та військово-політичної стабіль-
ності. Побудована матриця причинно-на-
слідкових зв'язків дала можливість системно
виявити основні траєкторії впливу кожної
групи загроз на структурні та функціональ-
ні характеристики механізму енергоефек-
тивності. Порівняльна оцінка чинників у
воєнному та повоєнному зрізах допомогла
формалізувати підходи до стратегічного
планування й обґрунтування рішень, зок-
рема, через залучення цільових інструмен-
тів реагування, суб'єктноорієнтовану від-
повідальність та необхідність регулярного
оновлення алгоритмів управлінських дій
відповідно до динаміки й масштабів ри-
зиків.

На основі сценарного аналізу рекомен-
довано структуру управлінських дій із
нейтралізації впливу виявлених бар'єрів,
які охоплюють коротко-, середньо- та дов-
гострокові горизонти управління. Пред-
ставлена дослідниками система сценарних
рішень базується на принципах гнучкості,
стійкості, превентивності та міжінститу-
ційної узгодженості, що дає можливість
створити підґрунтя для стійкої модерніза-
ції аграрного виробництва, яка буде адап-
тована до умов гібридної війни, глобаль-
них екологічних викликів та обмежених
фінансово-ресурсних можливостей. Засто-
сування результатів авторських розробок
на практиці може бути корисним для орга-
нів державної влади, аграрного бізнесу, ло-
кальних громад та міжнародних партнерів
України у площині розроблення і реалізації
ефективної політики енергетичної транс-
формації агросектору.

Подальші дослідження будуть спрямовані на створення інтегрованих моделей моніторингу ефективності реалізації організаційно-економічного механізму енергоефективності з урахуванням регіональної специфіки, а також на розробку індикативно-прогностичних систем підтримки управлінських рішень у межах національного агросектору. Перспективним, на авторське переконання, також є поглиблення аналізу взаємозв'язків між рівнем енергоефективності, структурою сільськогосподарського виробництва та

соціальною стійкістю сільських і деокупованих територій. І, у цьому контексті, особливої уваги потребуватиме впровадження саме спеціалізованих цифрових платформ задля: а) адаптивного управління енергоефективністю; б) інституційного закріплення сценарного планування на рівні аграрної політики; в) формування нових освітніх і кадрових підходів у площині розвитку фахового потенціалу у сфері циркулярної економіки та «зеленої» трансформації агровиробництва України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Статівка, Н., & Ляліна, Н. (2017). Формування організаційно-економічного механізму енергоефективності сільськогосподарських підприємств. *Аграрна та ресурсна економіка: Міжнародний науковий електронний журнал*, 3(2), 56–64. DOI: <https://doi.org/10.51599/are.2017.03.02.05>.
2. Білоус, Л. (2020). Визначення таксономії бар'єрів енергоефективності в соціально-економічній моделі України. *Технологічний аудит та резерви виробництва*, 34(53), 14–21. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.206682>.
3. Бородіна, О. М. (Ред.). (2020). *Інклюзивний сільський розвиток в Україні: моногр.* Київ: Ін-т екон. та прогнозів. НАН України.
4. Крулик, Б. (2025). Енергозберігаючі та ресурсозберігаючі технології в сільському господарстві. *Платформа WEAGRO*. URI: <https://weagro.com.ua/blog/energozberigayuchi-ta-resursozberigayuchi-tehnologiyi-v-silskomu-gospodarstvi/>.
5. Brandão, Jr. A Jr., Rausch, L., Paz Durán, A., Costa, Jr. C Jr., Spawn, S. A., & Gibbs, H. K. (2020). Estimating the Potential for Conservation and Farming in the Amazon and Cerrado under Four Policy Scenarios. *Sustainability*, 12(3), 1277. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12031277>.
6. Грабовський, Д. О. (2023). Еволюція теоретичних поглядів на формування державної підтримки розвитку аграрного сектору економіки. *Академічні візії*, (21). DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8288769>.
7. Кривожиж, Є., Башлай, С., & Курило, Ю. (2023). Стратегія забезпечення продовольчої безпеки України в умовах війни. *Економіка та суспільство*, (55). DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-59>.
8. Шпикуляк, О. Г., & Білокінна, І. Д. (2020). Формування інституційних складових кооперативного розвитку альтернативної енергетики в аграрному секторі економіки. *Економіка АПК*, 8, 72–81. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202008072>.
9. Прокопенко, К. О., & Удова, Л. О. (2025). Регулювання органічного сектору в Україні з позицій імплементації нового законодавства ЄС. *Економіка України*, 03(084), 84–97. DOI: <https://doi.org/10.15407/econo.myukr.2025.03.084>.
10. Ромашенко, М., Сайдак, Р., Яцюк, М., Матяш, Т., Строкон, Д., Попов, В., & Книш, В. (2023). Обґрунтування напрямів модернізації систем зрошення в Україні на основі оцінки їх енергоефективності. *Вісник аграрної науки*, 1(838), 60–67. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202301-07>.
11. Biagini, L. (2025). The Unintended Consequences of Farm Insurance: A Causal Investigation of Income, Productivity and Input Dynamics. *Journal of Agricultural Economics*, 1–32. DOI: <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12640>.
12. Saunders, J. T. (2025). Foreword: The Role of Agricultural Trade in Countering the Effects of Extreme Weather. *J. Agric. Econ.*, 76, 239–240. DOI: <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12633>.
13. Бендасюк, О. О., Микитенко, В. В., Гурін, О. Г., & Неклюдова, Т. М. (2023). Організаційно-економічний механізм підвищення енергоефективності національної економіки. *Український журнал прикладної економіки та техніки*, 8, 4, 276–286. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2023-4-45>.
14. Гурін, О. Г. (2025). Структурно-функціональна модель екологічного концепту організаційно-економічного механізму енергоефективності аграрної сфери. *Науковий вісник Міжнародної асоціації науковців. Сер.: економіка, управління, безпека, технології*, 4(2). DOI: <https://doi.org/10.56197/2786-5827/2025-4-2-4>.
15. Микитенко, В. В., & Чупріна, М. О. (2024). Соціо-еколого-енергетичні технології в умовах гібридної війни: перспективи національної трансформації. *Підприємство та інновації*, 33, 36–43. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/33.6>.

Стаття надійшла до редакції журналу 15.07.2025

ІНДИКАТОРИ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН ЗА ДАНИМИ СУПУТНИКОВОГО МОНІТОРИНГУ

Т.В. Ільєнко, Д.М. Шерстюк

Інститут агроєкології 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

*У статті досліджено прояви кліматичних змін на території України та їхній вплив на стан екосистем із використанням сучасних методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) і супутникових даних. Основною метою дослідження було виявлення наслідків впливу кліматичних змін на довкілля із залученням передових технологій дистанційного зондування Землі, зокрема, виявлення взаємозв'язку між підвищенням температури поверхні землі, змінами вегетаційного покриву, станом водних об'єктів та поширенням інвазійних видів. Дослідження проведено з використанням ГІС-технологій, супутникових засобів спостереження та збору даних у вигляді баз даних Giovanni, Copernicus та EO BROWSER. Аналіз температурних змін здійснено за допомогою супутника AIRS і платформи Giovanni на основі даних за 2010–2025 рр. Вегетаційні параметри оцінювалися за індексами NDVI, NDWI та NDMI із застосуванням супутників Sentinel-2. Результати показали стійку тенденцію до зростання температурних показників, пом'якшення зимових умов із підвищенням мінімальних температурних значень, скорочення періоду снігового покриву та зростання інтенсивності літніх теплових хвиль. Спостерігалось прогресивне підвищення показників NDVI, а також подовження вегетаційного періоду, зокрема в Рівненській обл., де початок вегетації змістився на три тижні раніше, що свідчить про адаптацію рослинного покриву до нових кліматичних умов. У роботі встановлено також зв'язок між кліматичним потеплінням та активним поширенням інвазійного виду *Potamopyrgus antipodarum* у Волинській та Одеській обл. Крім того, у регіонах із підвищеною температурою, особливо в Одеській обл., зафіксовано зменшення площі водної поверхні озер та зниження вологозабезпечення рослинності. Використання даних супутникового моніторингу дало можливість виявити просторово-часові закономірності змін і підтвердити чутливість природних і агроєкосистем до кліматичних чинників. Результати дослідження акцентують на необхідності подальшого спостереження за динамікою екосистем для розробки адаптивних природоохоронних та агроєкологічних стратегій, що є критично важливим для забезпечення сталого розвитку України в умовах глобальних кліматичних викликів.*

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, NDVI, NDMI, NDWI, стан рослинного покриву, інвазійні види, посухи.

ВСТУП

Глобальні зміни клімату спричиняють комплексний вплив на екосистеми через складну взаємодію природних процесів. Клімат, як один із ключових регулювальних чинників довкілля, зумовлює каскадні зміни в екосистемах, що можна виявити та кількісно оцінити за допомогою методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

Важливим індикатором кліматичних змін є динаміка вегетаційних індексів, оскільки рослинність безпосередньо реагує на зміни температурного режиму та кіль-

кості опадів. Сучасні дослідження демонструють загальносвітову тенденцію до підвищення значень вегетаційного індексу, що свідчить про істотні трансформації в екосистемах під впливом кліматичних змін [1].

Додатковим біоіндикатором кліматичних змін є динаміка популяцій комах, особливо в агроєкосистемах. Спостерігається розширення ареалів шкідників сільськогосподарських культур та поява нових видів на територіях, де вони раніше не зустрічалися, що вказує на формування сприятливих умов для їх життєдіяльності внаслідок кліматичних змін.

Метеорологічні параметри, включаючи режим опадів та температурні показники, також зазнають істотних змін. Сучасні методи ДЗЗ допомагають здійснювати комплексний моніторинг цих параметрів у просторово-часовому вимірі, доповнюючи та верифікуючи дані наземних спостережень.

Тому, використання методів ДЗЗ забезпечує ефективний інструментарій для виявлення, кількісної оцінки та просторового аналізу наслідків кліматичних змін у різних компонентах довкілля.

Мета даної роботи — виявлення наслідків впливу кліматичних змін на довкілля із залученням передових технологій ДЗЗ.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Екологічна ситуація в Україні істотно погіршилася внаслідок широкомасштабного вторгнення Росії. Простежується деградація екосистем, негативний вплив на біорізноманіття, забруднення природних ресурсів. Через ці чинники підвищується вразливість України до кліматичних змін, які істотно діють на глобальну продовольчу безпеку. Спричинена людиною зміна клімату вже призвела до широкомасштабних перетворень у системах Землі з негативними наслідками для природи та людей. Як відмічається у 6-му звіті Міжурядової групи експертів зі зміни клімату ризику та прогнозовані негативні наслідки зміни клімату та пов'язані з ними втрати й збитки зростатимуть із кожним приростом глобального потепління. Вони будуть вищі за глобального потепління на 1,5°C, ніж зараз, і ще вищі на 2°C [2]. За науковими дослідженнями встановлено, що багато наземних і прісноводних видів вже змінили свої географічні ареали, сезонну діяльність, моделі міграції, чисельність і взаємодію видів у відповідь на триваючі зміни клімату. А за підвищення температури на планеті на 1,5°C втратять більше половини свого кліматично зумовленого ареалу існування 105 000 вивчених видів, 6% комах, 8 рослин і 4% хребетних тварин. Якщо температура зросте на 2°C, наслідки будуть значно гіршими: 18% комах,

16 рослин, 8% хребетних тварин втратять свої природні ареали [2]. Також відбуватиметься збільшення кількості лісових пожеж і поширення шкідливих інвазивних видів. Як наголошується у звіті, критичною межею підвищення середньорічної температури є 2–2,5°C. Подальше збільшення температури призведе до катастрофічного стану біосфери. Жоден із регіонів планети не уникне цих негативних наслідків впливу змін клімату [2].

Впливу змін клімату та визначенню їх відповідних ризиків на сільськогосподарське виробництво та екосистеми, з використанням сучасних технологій, присвячено численні наукові дослідження. У праці Arfasa зі співавт. [3] проаналізовано вплив змін клімату на окремі регіональні метеофактори. Перетворення агрокліматичних умов та врожайності сільськогосподарських культур за змін клімату було висвітлено в роботах Шевченко, Балабух [4] та Польового і співавт. [5], відповідно. Комплексний аналіз взаємовпливу скорочення лісистості площ і кліматичних змін представлено в дослідженні Райчук, Швиденко, Кучми (2024) [6]. У праці Zhong et al. (2022) визначено потенційні кліматичні зміни в екосистемах водно-болотних угідь із використанням оптимізованих моделей машинного навчання. Результати дослідження свідчать, що місцеві види водно-болотних угідь, особливо в Північно-Східному Китаї, ймовірно, зазнають скорочення ареалу існування внаслідок кліматичних змін, що супроводжуватиметься потенційною інвазією неаборигенних видів [7].

Дослідники й винахідники багатьох країн розробляють методи і способи щодо виявлення наслідків впливу змін клімату на навколишнє середовище. Впродовж 2016–2017 рр. китайський вчений Wu Jianguo розробив інноваційну технологію визначення комплексного впливу кліматичних змін та антропогенних чинників на біологічне різноманіття (Detection technology separately detecting biological diversity influence by climate change factor and mankind activity factor Patent № CN105893785A.), яка ґрунтується на

міждисциплінарному підході, що інтегрує методи екології, кліматології, математичного моделювання та ГІС-технологій. Метод прогнозування регіонального індексу рослинності за різними сценаріями кліматичних змін розроблено в 2020 р. (Method for estimating future vegetation index of region under climate change scene. Patent № CN111639803A). У 2021 р. запропоновано комплексний метод і систему оцінки екологічних ризиків територій за трьома основними параметрами: вразливість території (чутливість природного середовища регіону до різних екологічних загроз), рівень загрози (оцінка наявних екологічних ризиків, їх поширення та інтенсивності) та адаптаційна здатність (спроможність регіону пристосовуватися до екологічних викликів з урахуванням антропогенного впливу). Результатом застосування цієї системи є ідентифікація ключових екологічних загроз, формування загальної оцінки екологічних ризиків території, створення карти просторового розподілу ризиків та розробка детального опису екологічного стану досліджуваної території (Regional ecological environment risk evaluation method and system Patent № CN113191691A).

Започаткування низки програм із визначення стану агроєкосистем і впливу на них змін клімату із залученням космічних, агрометеорологічних та наземних спостережень, стало наступним етапом в оцінюванні цих змін на довкілля. Дослідження, які були зосереджені, зокрема, на аналізі взаємодії між змінами ґрунтового покриву та глобальними перетвореннями загалом (зміна клімату, втрата біорізноманіття, вплив на природні ресурси, були розроблені в рамках міжнародних дослідницьких програм LULCC (Land Use and Land Cover Change) [8], GLP (Global Land Project) [9] і більш сучасної Copernicus Land Monitoring Service [10]. Вплив кліматичних змін на рослинний покрив досліджувався шляхом аналізу багатодесятирічних часових рядів даних дистанційного зондування. За допомогою сезонних показників NDVI було здійснено оцінку довгострокової динаміки рослинності в Європі та Північній Африці.

Результати аналізу виявили чіткі закономірності з диференційованими трендами NDVI у весняний, літній та осінній періоди, причому для значних територій Європи характерні позитивні тенденції, що свідчить про посилення вегетаційної активності протягом досліджуваного періоду [11].

Тому, супутниковий моніторинг Землі став критично важливим інструментом для відстеження екологічних змін та обґрунтування управлінських рішень у контексті кліматичних трансформацій. Цей підхід забезпечує комплексне вимірювання численних екологічних параметрів і процесів у глобальному масштабі, що дає можливість формувати цілісну картину змін навколишнього середовища та розробляти ефективні стратегії адаптації.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для визначення змін клімату на наслідків їх впливу на екосистеми було використано супутникові дані та результати попередніх наукових досліджень. Методика досліджень полягала у виявленні зв'язку такого фактора впливу змін клімату, як температурні зміни із станом вегетаційного покриву, водних об'єктів, поширення інвазійних видів. Визначення температури наземного покриву проводилось за часовими серіями даних із супутника AIRS (The Atmospheric Infrared Sounder), який застосовується для кліматичних досліджень і прогнозування погоди [12]. Корисне навантаження супутника AIRS складається з гіперспектрального приладу AIRS з 2378 інфрачервоними каналами та 4 каналами видимого/ближнього інфрачервоного діапазону та приладу AMSU-A з 15 мікрохвильовими каналами [13]. За даними цього супутника за 10-річний період (2015–2025 рр.) [14] з використанням застосунку Giovanni [15] були побудовані графіки, що відображають щоденну динаміку змін температури земної поверхні.

Для визначення стану вегетаційного покриву та водних об'єктів було використано дані супутників мережі Sentinel на платформі EO Browser [16; 17], зокрема

супутника Sentinel-2, який надає знімки з високим просторовим розрізненням у видимому та інфрачервоному діапазоні для моніторингу рослинності, ґрунту та водних поверхонь, внутрішніх водних шляхів і прибережних територій. Для досліджень було застосовано індекси: нормалізований диференційний вегетаційний індекс NDVI [18], нормалізований диференційний водний індекс NDWI [19] та нормалізований диференційний індекс вологості NDMI [18]. Вегетаційний індекс NDVI є простим, але ефективним показником для кількісної оцінки зеленої біомаси. Це показник стану здоров'я рослинності, який базується на відбитті рослинами хвилі світла певної довжини, отриманого за допомогою бази даних EO Browser за формулою:

$$NDVI = (B08 - B04) / (B08 + B04), \quad (1)$$

де *B8* (ближній інфрачервоний діапазон спектра, 842 нм), *B4* (червоний, 665 нм) — спектральні канали супутника Sentinel-2.

Діапазон значень NDVI становить від -1 до 1. Від'ємні значення NDVI (значення, що наближаються до -1) відповідають водним об'єктам. Значення, близькі до нуля (від -0,1 до 0,1), зазвичай означають оголені ділянки скель, піску або снігу. Низькі додатні значення (приблизно від 0,2 до 0,4) — характерні для рідкої рослинності, тоді як високі значення характерні для густої рослинності (значення наближені до 1 — відповідає лісовому покриву) [18].

Для визначення об'єктів відкритих водних просторів та їх виділення на супутниковому знімку на тлі ґрунту та рослинності, а також аналізу їх стану використовувався індекс NDWI, який розраховується за формулою [19]:

$$NDWI = (B03 - B08) / (B03 + B08), \quad (2)$$

де *B03* — зелений канал (560 нм); *B08* — ближній інфрачервоний канал.

NDWI використовується для виявлення та моніторингу найменших змін у вмісті водних об'єктів. Застосовуючи переваги спектральних діапазонів ближнього інфрачервоного (*B08*) та видимого зеленого (*B03*).

Для виявлення вмісту вологи в рослинності та моніторингу посухи використовується індекс NDMI як ближній інфрачервоний (*B08*) та короткохвильовий інфрачервоний (*B11*, 1610 нм) діапазони для відображення вмісту вологи та отриманий за формулою:

$$NDMI = (B08 - B11) / (B08 + B11). \quad (3)$$

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 густому рослинному покриву, що не зазнає водного стресу (приблизно від 0,4 до 1) [18].

Інформація щодо кількості та поширення інвазійних видів була визначена за аналізом досліджень вітчизняних науковців, опублікованих у каталозі «Знахідки чужорідних видів рослин і тварин в Україні» (2023) [20].

Дослідження наслідків змін клімату охоплювало території двох адміністративних областей України, які репрезентують різні фізико-географічні зони та характеризуються контрастними ландшафтно-кліматичними умовами. Моніторинг змін вегетаційного покриву проводився в північно-західному регіоні країни, де клімат є помірно континентальним із достатнім зволоженням. Річна кількість опадів становить у середньому 600–700 мм, з відносно рівномірним розподілом упродовж року. Температурний режим окреслено вираженою сезонною варіабельністю, що істотно впливає на динаміку розвитку рослинності. Аналіз змін у стані водних об'єктів здійснювався в південному регіоні України, де кліматичні умови також мають помірно континентальний характер, однак із більш чітким впливом морської акваторії. Цей чинник зумовлює специфічний гідротермічний режим із загальною тенденцією до дефіциту атмосферних опадів, які переважно припадають на літній період і не перевищують 340–470 мм на рік.

Така комплексна характеристика території дослідження відображає різноманітність фізико-географічних умов досліджуваних регіонів, що є важливим підґрунтям для подальшого аналізу наслідків впливу кліматичних змін.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Одним із ключових індикаторів кліматичних змін є динаміка температурних показників, що безпосередньо відображає трансформацію кліматичних умов навколишнього середовища. Температура поверхні ґрунтового покриву є одним із найбільш репрезентативних супутникових індикаторів кліматичних змін. Для комплексного дослідження цих змін було використано базу даних Giovanni [15], на основі якої сформовано температурні графіки поверхні Землі, що дають змогу ідентифікувати та проаналізувати температурні коливання.

Аналіз динаміки середньомісячної температури на території України з 2010 по 2025 рр. свідчить про загальну тенденцію до підвищення температури на глобальному рівні протягом досліджуваного періоду (рис. 1).

Графік побудовано за супутниковими даними AIRS температури поверхні суші в денний період упродовж 15-річного періоду спостережень, осередненими за місяць та інтегрованими у систему Giovanni. Характерною особливістю температурної динаміки є диференційований характер змін у різні сезони: скорочення періоду з низькими температурами взимку та подовження періоду з високими температурами влітку. У зимовий період зафіксовано статистично значуще зменшення кількості днів із низькими температурними показниками та підвищення мінімальних температурних значень, тоді як літні сезони відзначаються зростанням екстремальних максимумів та їх тривалості.

Аналогічно було проведено регіональний температурний аналіз на прикладі Київської обл. Аналіз температурного режиму Київської обл. підтверджує загальну тенденцію до потепління, зокрема через частіші екстремальних температурних показників, та вказує на інтенсифікацію теплових хвиль у літній період та пом'якшення зимових умов (рис. 2).

Закономірним наслідком цих змін є скорочення тривалості снігового покриву та зменшення кількості снігових опадів, що



Рис. 1. Графік температури поверхні по Україні

Примітка: створено авторами за допомогою програми Giovanni [15].

Часовий ряд. Усереднена по площі приземна температура (денний час, тільки AIRS) щомісячно, 1 град. [AIRS AIRS3STM v006], С, за період січень 2010 – січень 2025, регіон 29,485 сх.д., 48,6567 пн.ш., 31,9459 сх.д., 51,5351 пн.ш.

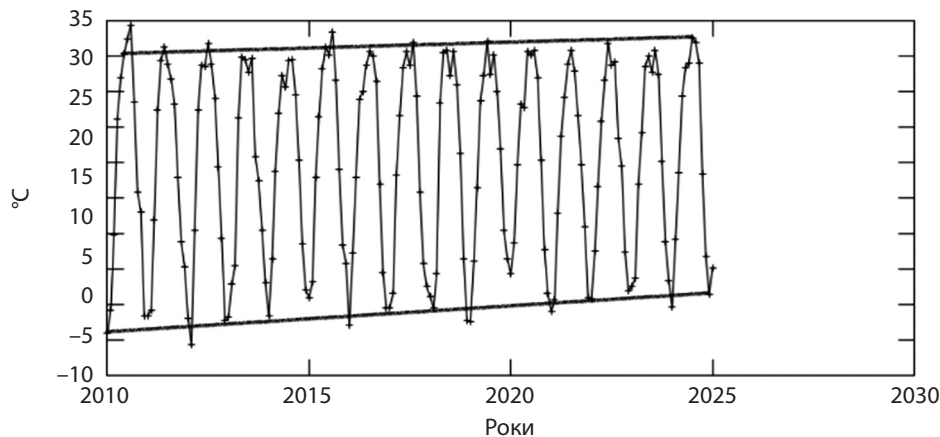


Рис. 2. Графік температури поверхні в Київській обл.

Примітка: створено авторами за допомогою програми Giovanni [15].

спостерігається протягом останніх 25 років (рис. 3). Про це свідчить аналіз графіка динаміки снігових опадів для території всієї України, сформованого за допомогою програмного комплексу Giovanni [15].

Зменшення кількості снігових опадів упродовж 25-річного періоду є додатко-

вим підтвердженням кліматичних змін, які впливають на характеристики зимового періоду в Україні.

Надійним показником змін клімату слугує характер вегетаційного періоду — його тривалість та інтенсивність, які можна відстежувати за допомогою вегетаційного індексу NDVI.

Часовий ряд. Усереднена по площі кількість снігу, щомісячно, $0,5 \times 0,625$ град. [MERRA-2 Reanalysis M2TMNXFLX v5.12.4], $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, за період січень 2000 – січень 2025, територія України

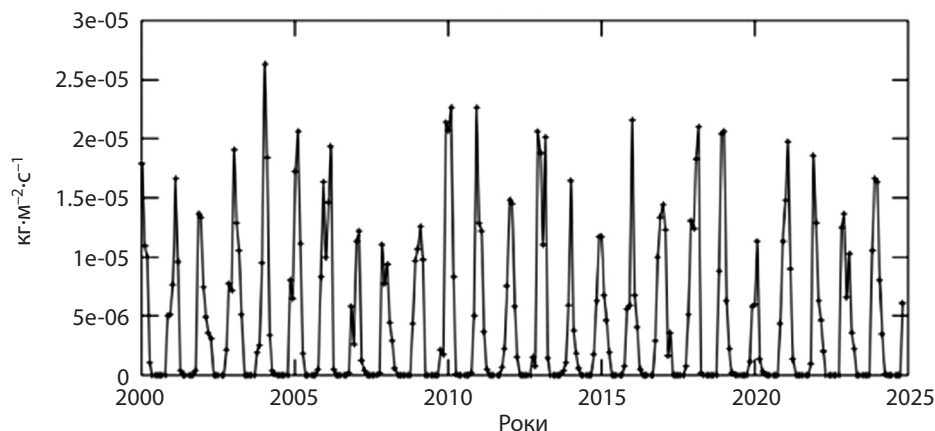


Рис. 3. Кількість снігових опадів за період з 2000–2025 рр.

Примітка: створено авторами за допомогою програми Giovanni [15].

Визначення ключових часових меж вегетаційного періоду — початку (SOS — Start of Season) та завершення (EOS — End of Season) — базується на моменті перетину вегетаційним індексом NDVI встановлених порогових значень.

Для українського Полісся з його специфічними ґрунтово-кліматичними умовами притаманні такі особливості: на початковій стадії вегетації показники NDVI зазвичай сягають лише 0,2, що відображає стан поверхні землі без рослинного покриву або з першими сходами. З розвитком рослинності цей показник поступово зростає до 0,3–0,8, а під час завершення вегетаційного циклу знову знижується до 0,2. Тому моментом перетину кривою NDVI позначки 0,2 визначаються часові точки SOS та EOS [22]. Зокрема для всієї Рівненської обл. чітко спостерігається зміна тривалості вегетаційного циклу: початок змістився з 24 березня на 3 березня, а завершення продовжилось від 3 до 17 листопада (рис. 4).

Моніторинг змін стану вегетаційного покриву здійснювався на території Гощанського р-ну Рівненської обл., що належить до зони Полісся. Аналіз динаміки вегетаційного індексу NDVI на спостережуваній ділянці демонструє чіткі та закономірні зміни протягом п'ятирічного періоду спос-

тережень (2020–2024 рр.) з помітними коливаннями, зумовленими як кліматичними умовами, так і особливостями сільськогосподарської діяльності (рис. 5). Впродовж досліджуваного періоду виявлена загальна тенденція до прогресивного зростання його показників. Винятком став 2022 р., коли показник різко знизився в середньому до 0,63, що може бути пов'язано не лише кліматичними чинниками, але й зміною сільськогосподарських практик, зокрема, впровадженням сівозміни (кукурудза/соє), що демонструє комплексну взаємодію антропогенних та природних чинників у формуванні вегетаційного профілю території. В 2023 р. індекс підвищився в середньому до 0,76, а в 2024 р. досяг 0,79, що вказує на поступове збільшення інтенсивності вегетаційного періоду. Коливання вегетаційного індексу безпосередньо залежать від типу рослин, кліматичних умов та агротехнічних заходів. Аналіз динаміки показників NDVI за п'ять років фіксує не лише зростання його значень, а й зміщення дат початку вегетації, що може бути індикатором впливу кліматичних змін на процеси рослинного розвитку. На досліджуваній території структура посівів включає кукурудзу та соє, що істотно впливає на динаміку вегетаційного індексу. Графічне представлення даних, незважаючи на наяв-

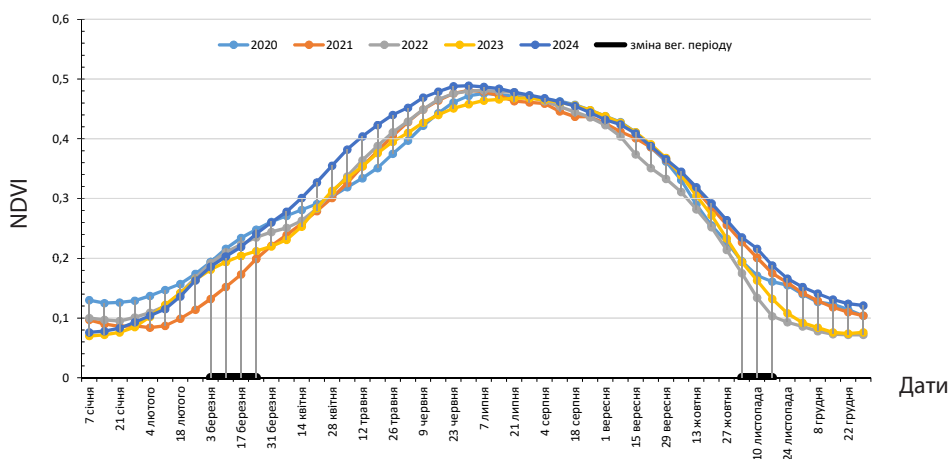


Рис. 4. Динаміка NDVI по Рівненській обл. (2020–2024 рр.)

Примітка: розроблено авторами за даними Satellite Applications and Research of NOAA's [21].

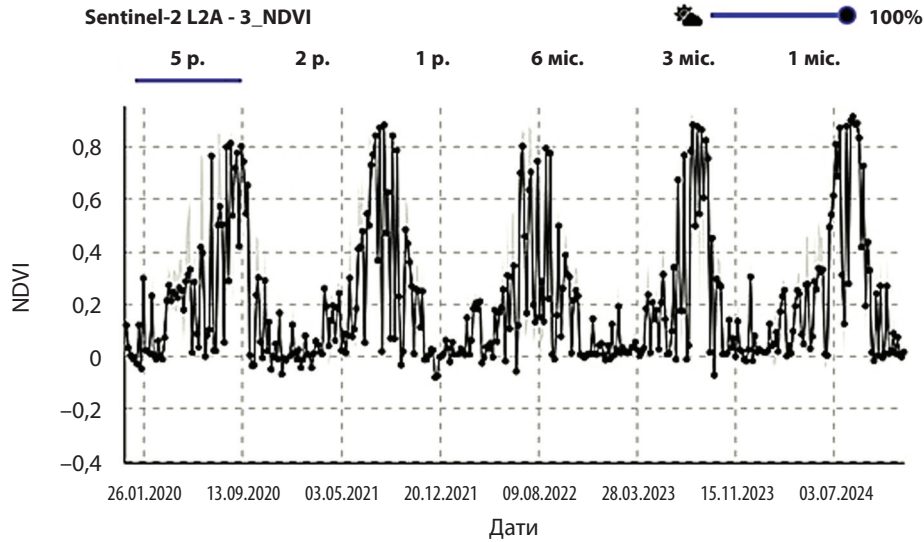


Рис. 5. Динаміка значень NDVI за період з 2020 по 2024 рр.

Примітка: розроблено авторами за даними EO Browser [16].

ність флуктуацій, чітко ілюструє загальну позитивну динаміку розвитку рослинності в досліджуваному регіоні (див. рис. 5).

На основі проаналізованого графіка (див. рис. 5) були відібрані репрезентативні дати знімків супутника Sentinel-2 для поля сої, що перебувало на стадії дозрівання. За допомогою геоінформаційної програми QGIS [23] було побудовано просторовий розподіл індексу NDVI за 2021 та 2024 рр. (рис. 6), який демонструє вищі його зна-

чення в 2024 р., а також карту їх різниці (рис. 7). Шкала різниці NDVI в діапазоні від -2 до 2 дає змогу детально оцінити просторово-часові зміни рослинного покриву та стану сільськогосподарських угідь. Такий методологічний підхід створює передумови для більш раціонального управління земельними ресурсами, сприяючи збереженню та підвищенню родючості ґрунту шляхом точної оцінки динаміки рослинності.

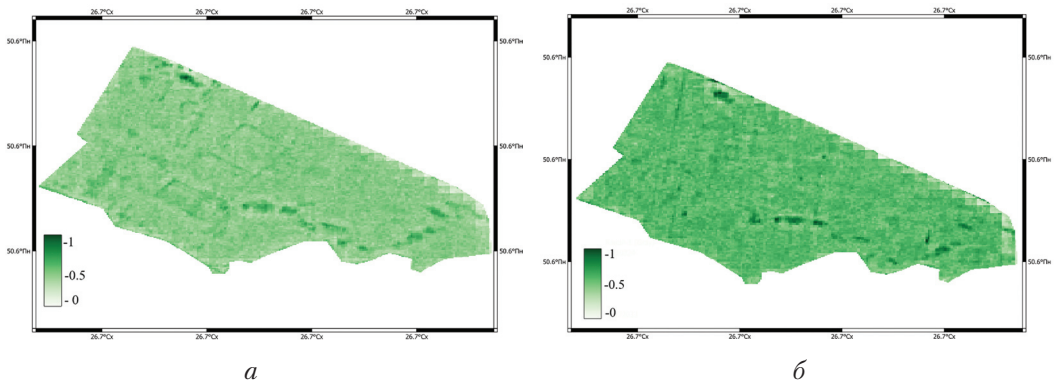


Рис. 6. NDVI: а – Sentinel-2, 11.08.2021 р.; б – Sentinel-2, 15.08.2024 р.

Примітка: побудовано авторами за даними Copernicus Browser [16].

Ще одним з аспектів впливу змін клімату на екосистеми є поширення інвазійних видів. Унаслідок глобальних змін клімату на території України спостерігається збільшення кількості теплих сезонів, що сприяє розширенню ареалів поширення нових видів. Інформація щодо кількості та поширення інвазійних видів була отримана з опублікованого каталогу «Знахідки чужорідних видів рослин і тварин в Україні» [20].

На основі каталогу було обрано види, які стрімко поширилися територією України за останній період та характеризуються чутливістю до температурних змін. Основним об'єктом дослідження став *Potamopyrgus antipodarum* (Gray, 1843) — інвазійний вид прісноводних черевоногих молюсків родом із Нової Зеландії. Вперше в Україні *P. antipodarum* було виявлено в 1951 р. Ю.М. Марковським у Дніпровсько-Бузькому лимані [24]. На сьогодні цей вид активно поширюється територією України через загальні кліматичні зміни, які стають дедалі сприятливішими для його розповсюдження. Впродовж 1969–1970 рр. у тимчасово пересихаючих та заплавлених водоймах Прип'ятського Полісся поселення молюсків цього виду вперше було відмічено В.В. Поліщуком. У вересні 2015 р. зареєстровано першу колонію *P. antipodarum* в озерах Шацької групи: на одній з чотирьох станцій на оз. Люцимер (51°28'14.7" N, 23°56'34.6" E). Щільність поселення молюсків становила 80 екз./м². У вересні 2019 р. поселення *P. antipodarum* були виявлені ще й на оз. Пісочне, Чорне Велике. На оз. Люцимер спостерігалася найвища щільність популяцій молюсків (>5500 екз./м²), а на інших озерах показники коливалися від 10 до 650 екз./м² [24–26].

P. antipodarum характеризується високою толерантністю до несприятливих умов середовища, включаючи підвищений рівень солоності, висихання та коливання температури. Експериментальні дослідження показали позитивний вплив температури на життєвий цикл виду [26]. За даними публікацій, вид було зафіксовано ще й в інших областях України: Одеська, Київська,

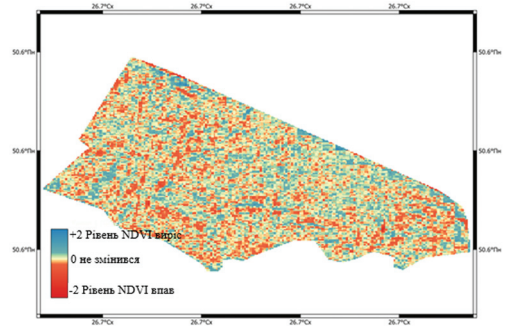


Рис. 7. Зміни NDVI між 2021 та 2024 рр.

Примітка: побудовано авторами з використанням програми QGIS [23].

Волинська, Миколаївська, Житомирська та Тернопільська. Однак найчисельніші колонії були помічені у Волинській та Одеській обл.

Відповідно до вище наведених даних, інвазійний вид *P. antipodarum* вперше виявлено у Волинській обл. у 2015 р. Аналіз значень денної температури за період 2005–2025 рр., отриманих за допомогою програми Giovanni [15], показав стійку тенденцію їх підвищення (рис. 8).

Примітно, що 2015 р. характеризувався одним з найвищих температурних показників у досліджуваному періоді, що створило термічні умови, сприятливі для встановлення та виживання даного теплолюбного виду.

За даними NOAA Center for Satellite Applications and Research (STAR), отриманими за період 2000–2024 рр., було проаналізовано осереднену за тиждень температуру земної поверхні та розраховано її середнє, мінімальне й максимальне значення за періоди 2000–2014 та 2015–2024 рр. Аналіз отриманих даних показав, що за однакових максимальних значення період 2015–2024 рр. був теплішим за рахунок підвищення зимових температур — середня температура була вищою на 0,73°C. Отже, спостерігалися більш рівномірні кліматичні умови, які були сприятливими для життєдіяльності *P. antipodarum*, що призвело до значного росту колонії з подальшим поширенням по території (понад

Часовий ряд. Усереднена по площі приземна температура (денний час, AIRS) щомісячно, 1 град. [AIRS AIRS3STM v006], С, за період січень 2005 – січень 2025, територія України, регіон 23,5851 сх.д., 50,3539 пн.ш., 26,1779 сх.д., 51,848 пн.ш.

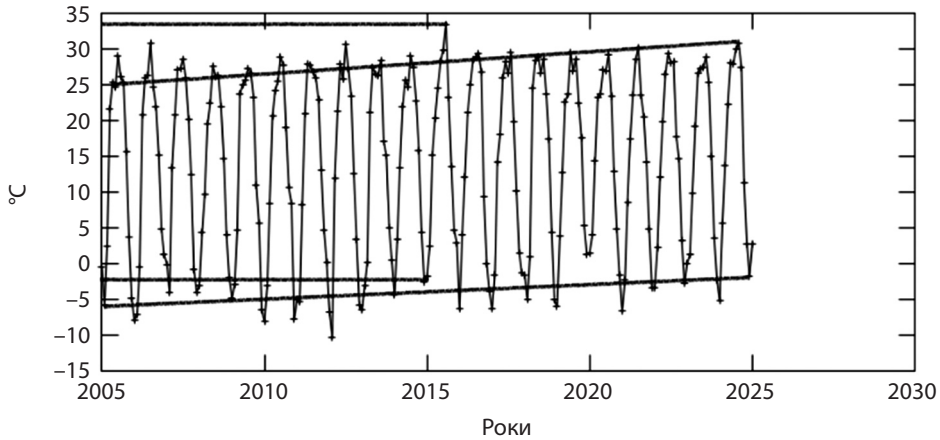


Рис. 8. Динаміка температури земної поверхні Волинської обл.

Примітка: створено авторами за використання програми Giovanni [15].

5000 екз./м²). Саме ці кліматичні зміни, ймовірно, стали ключовим чинником, який забезпечив успішну колонізацію території *P. antipodarum*. У наступні роки, на фоні збереження підвищених температурних режимів, відбувався поступовий ріст чисельності колонії з подальшим територіальним поширенням виду, що підтверджує прямий зв'язок між потеплінням клімату та експансією інвазійних видів у регіоні.

Для підтвердження одержаних результатів було також проаналізовано температурні дані для Одеської обл., де також фіксувалися значні за розміром колонії *P. Antipodarum* [20]. Аналогічно до Волинської обл., в Одеському регіоні спостерігається виражена тенденція до загального потепління, що безпосередньо корелює з успішним встановленням інвазійного виду. Відповідно до проаналізованих даних NOAA Center for Satellite Applications and Research (STAR), середня температура земної поверхні Одеської обл. в період 2008–2024 рр. була вищою за температуру попереднього періоду (1990–2007 рр.) на 1,8°C і становила 15,61°C. Особливо важливим є той факт, що максимальна температура знизилася від 35,9°C до 34,5°C, а мінімальна підвищилася від –23,5°C до

–20,5°C. Це вирівнювання температурних екстремумів призвело до формування більш стабільного і м'якого кліматичного режиму, який усунув температурні стреси, що раніше обмежували виживання *P. antipodarum*. Саме зменшення амплітуди коливань температур створило термічну нішу, оптимальну для життєдіяльності цього виду, що пояснює формування великих за розміром колоній у регіоні.

Ще одним із ключових індикаторів кліматичних змін, що характеризуються зменшенням кількості опадів та збільшенням експлуатації водних об'єктів у сільськогосподарських цілях є посухи.

Динаміку опадів з 2000 по 2024 рр. визначали за даними ERA5 ECMWF/ Copernicus Climate Change Service [27]. На рис. 9 наведено середньомісячна кількість опадів в Одеській обл. за період з 2000 по 2024 рр. На графіку видно, що загальний об'єм і кількість опадів зменшилися, однак спостерігається збільшення критичних опадів, коли за короткий проміжок часу випадає велика кількість опадів.

Стан водних об'єктів визначався за вище наведеним індексом NDWI. Цей індекс використовується для виявлення водних об'єктів та може демонструвати проце-

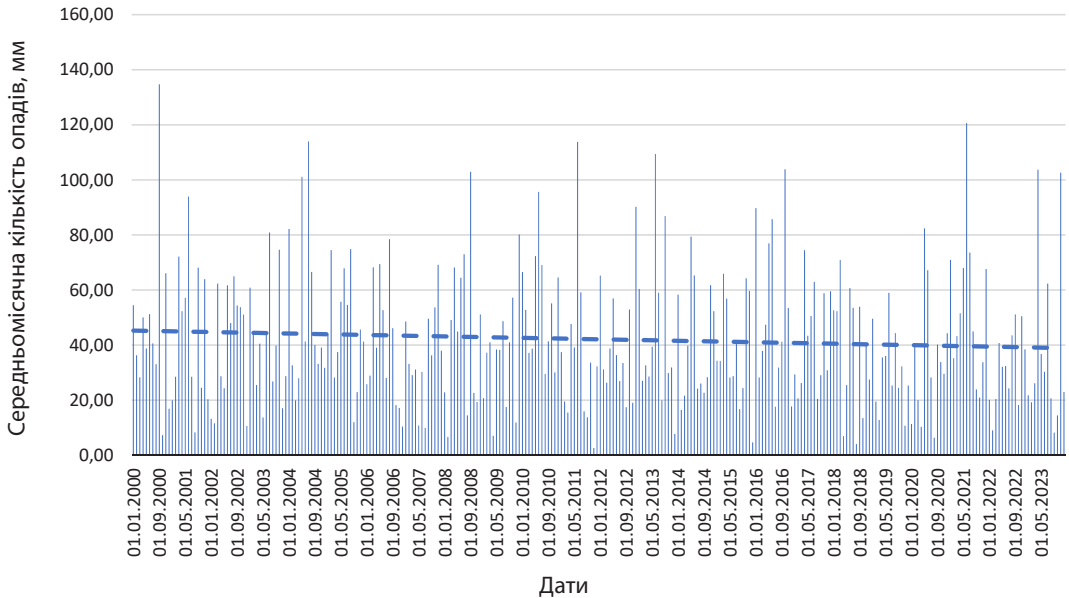


Рис. 9. Графік опадів в Одеській обл.

Примітка: створено авторами за даними ERA5 ECMWF [27].

си евтрофікації водних об'єктів, внаслідок чого їхня поверхня може відображатися зеленим кольором.

Вищі значення індексу відповідають більш насиченому синьому кольору, що демонструє кращий стан водного об'єкта та його глибину.

Об'єктом дослідження було обрано оз. Путрене, розташоване в Одеській обл., регіоні, де фіксується загальне підвищення температури (рис. 10), що може впливати на стан водних об'єктів.

Для більш точного визначення водних об'єктів було сформовано два взаємодоповнювані шари: трьохканальний знімок True color, який фіксує поверхню в звичному для людини вигляді, та шар класифікації сцен Scene Classification Layer (SCL), що забезпечує автоматизовану ідентифікацію об'єктів на поверхні. Завдяки використанню алгоритму машинного навчання SCL дає можливість точно класифікувати пікселі на основі їхніх спектральних та просторових характеристик [28], що призводить до значно чіткішого відображення берегової лінії порівняно з візуальним аналізом.

За результатами аналізу супутникових знімків Sentinel-2 встановлено значні зміни параметрів оз. Путрене за період 2016–2024 рр. Оскільки високі літні температури інтенсифікують процеси евтрофікації, які маскують справжні контури водного дзеркала, для точного визначення параметрів озера було стратегічно обрано знімки в холодний період року. Додатковим підтвердженням необхідності такого підходу стали температурні дані STAR NOAA NESDIS: температура поверхні в період 3–9 листопада становила 5,6°C (2017 р.) та 11,3°C (2024 р.), що свідчить про мінімальну біологічну активність у водоймі. Враховуючи ці критерії, для аналізу динаміки змін водної поверхні було обрано доступні безхмарні супутникові знімки Sentinel-2 за 4 листопада 2016 р. (рис. 11, а) та 7 листопада 2024 р. (рис. 11, б).

Використовуючи принцип, що насиченість синього кольору корелює з глибиною водного об'єкта, встановлено зміни морфометричних параметрів озера. У 2016 р. (рис. 11, а) озеро характеризувалося більшою глибиною та площею водної



Рис. 10. Графік температури земної поверхні Одеської обл.

Примітка: створено авторами за допомогою програми Giovanni [15].

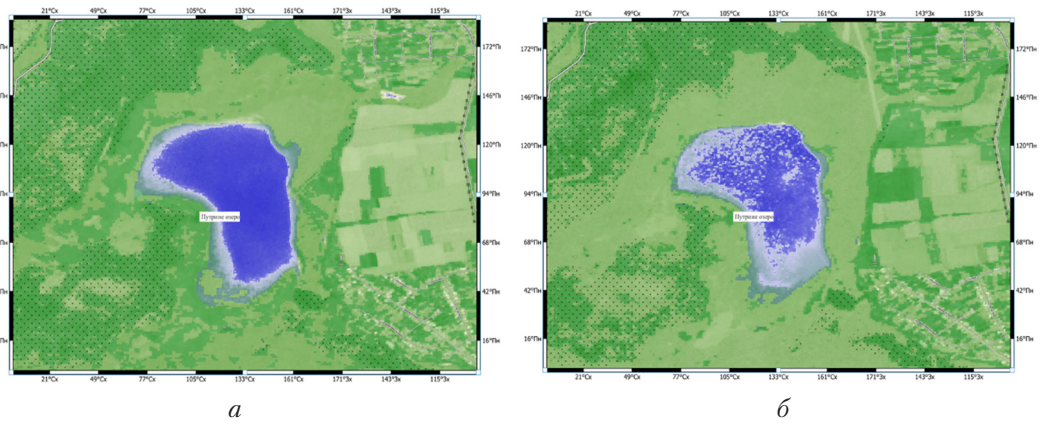


Рис. 11. Просторовий розподіл значень NDWI (оз. Путрене) 2016 р.:
a — 4 листопада 2016 р.; *б* — 7 листопада 2024 р.

Примітка: побудовано авторами за допомогою програми QGIS [23] за даними супутника Sentinel-2.

поверхні 1,5 км². Протягом восьмирічного періоду відбулися критичні зміни: у 2024 р. (рис. 11, б) спостерігається значне зменшення загальної глибини озера, внаслідок чого площа водної поверхні скоротилася до 1,3 км² (зменшення на 13,3%). Такі масштабні зміни водної поверхні є прямим індикатором загального обміління водойми, спричиненого, ймовірно, комбінацією

кліматичних змін та антропогенного впливу за досліджуваний період.

Процеси посухи обумовлені синергетичним впливом трьох ключових чинників: загального потепління клімату, інтенсифікації експлуатації водних ресурсів у промисловості та сільському господарстві, а також зростання споживчих потреб унаслідок технологічного розвитку. Ці

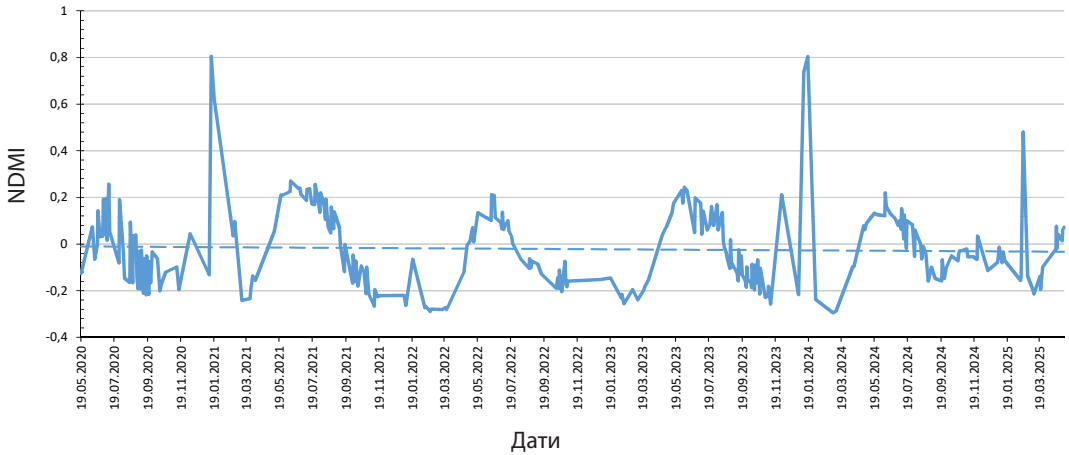


Рис. 12. Динаміка індексу NDMI впродовж 5 років (2020–2025 рр.) на території Одеської обл.

Примітка: створено авторами за допомогою платформи EO Browser за даними супутника Sentinel-2.

взаємопов'язані чинники створюють каскадний ефект, який призводить до критичного дефіциту водних ресурсів для забезпечення сталого розвитку.

Індикатором кліматичного впливу на агроландшафти постає динаміка вологозабезпечення рослинного покриву, яка може бути кількісно оцінена через аналіз індексу NDMI. Дослідження проводилось на основі даних супутника Sentinel-2 за період 2020–2025 рр. в Одеській обл. з використанням QGIS та платформи EO Browser. П'ятирічний аналіз динаміки індексу

NDMI (рис. 12) виявив стійку негативну тенденцію зниження вологозабезпечення рослинного покриву. Це прямий наслідок зростання температури поверхні в Одеській обл. впродовж 2005–2025 рр. (див. рис. 10).

Порівняльний аналіз супутникових знімків сільськогосподарських угідь Ширяївського району за 06.06.2021 р. (рис. 13, а) та 10.06.2024 р. (рис. 13, б) демонструє візуальне підтвердження загального зменшення вологості в сільськогосподарських рослинах.

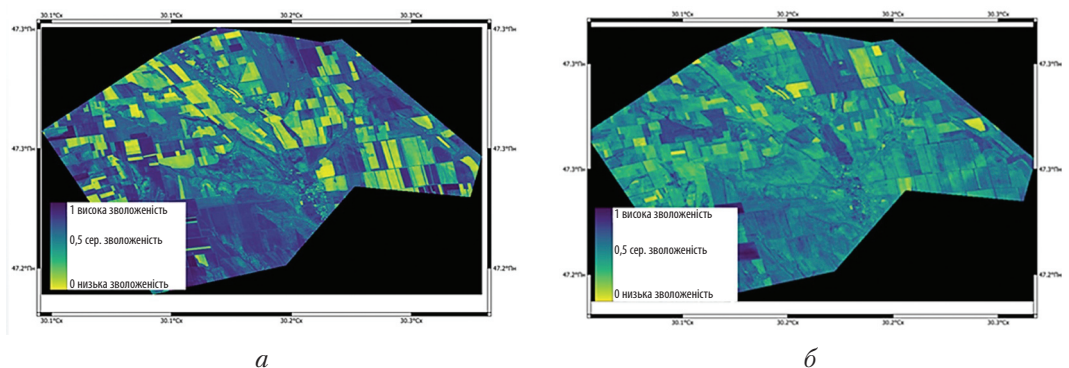


Рис. 13. Просторовий розподіл NDMI пілоїтної території Ширяївського р-ну Одеської обл. за знімками супутника Sentinel-2: а — за 06.06.2021 р.; б — за 10.06.2024 р.

Примітка: створено на основі даних, отриманих за допомогою бази даних Copernicus Browser [16].

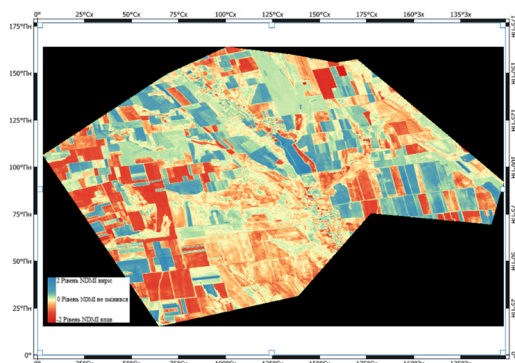


Рис. 14. Просторовий розподіл змін вмісту води в рослинах за індексом NDMI пілотної території Ширяївського р-ну Одеської обл. за 2021–2024 рр.

Примітка: отримано з використанням програми QGIS [23].

Картографічне представлення різниці рівнів NDMI за 2021–2024 рр. (рис. 14) просторово верифікує посилення посушливих умов, що корелює зі зменшенням середньомісячної кількості опадів (див. рис. 9).

Тому, встановлено комплексний механізм деградації вологозабезпечення: кліматичні зміни ініціюють підвищення температури, що призводить до інтенсифікації випаровування та результує у зниженні вологовмісту рослинного покриву, підтвердженому супутниковими даними NDMI.

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень із використанням супутникових даних та ГІС-технологій можна зробити висновок щодо наявності на території України ознак кліматичних змін, які відображаються на природних об'єктах, сільськогосподарському секторі та екосистемах.

Аналіз супутникових даних AIRS за період 2010–2025 рр. виявив стійку тенденцію до підвищення температури поверхні землі. Характерними особливостями температурної динаміки є зростання частоти та інтенсивності екстремальних температурних явищ, пом'якшення зимових умов із підвищенням мінімальних температур-

них значень, зменшення амплітуди температурних коливань.

Дослідження динаміки вегетаційного індексу NDVI на території Рівненської обл. за 2020–2024 рр. засвідчило прогресивне збільшення показників NDVI від 0,63 у 2022 р. до 0,79 у 2024 р., загальне подовження вегетаційного циклу за рахунок більш раннього початку вегетаційного циклу і більш пізнього завершення вегетації, що свідчить про адаптацію рослинного покриву до нових кліматичних умов зміщення.

Продемонстровано прямий зв'язок між кліматичними змінами, які виявляються у вирівнюванні кліматичних умов внаслідок підвищення зимових температур та розширенням ареалів інвазійних видів на прикладі динаміки розповсюдження *Potamopyrgus antipodarum*.

Визначено ознаки посилення посушливих умов, які впливають на стан водних об'єктів і рослинного покриву за аналізом динаміки водних індексів NDWI та NDMI. Показано загальне обміління водних об'єктів, стійку тенденцію до зниження вологозабезпечення рослинного покриву, зменшення середньомісячної кількості опадів за збільшення частоти екстремальних опадів.

Дослідження проведено з використанням ГІС-технологій, супутникових засобів спостереження та збору даних у вигляді баз даних Giovanni, Copernicus та EO BROWSER, що демонструє можливості активного залучення засобів ДЗЗ для вивчення кліматичних змін та наслідків їх впливу на довкілля.

Комплексний аналіз супутникових даних за період 2010–2025 рр. неспростовно підтверджує наявність значущих кліматичних змін на території України. Виявлені тенденції – підвищення температури, трансформація вегетаційних циклів, поширення інвазійних видів та деградація водних ресурсів – вимагають негайного впровадження адаптаційних заходів та комплексної стратегії управління природними ресурсами. Застосування технологій дистанційного зондування Землі відкриває нові можливості для ефективного моніто-

рингу та прогнозування екологічних змін, що є критично важливим для забезпечення

сталого розвитку України в умовах глобальних кліматичних викликів.

ЛІТЕРАТУРА

- Liu, Y., Tian, J., Liu, R., & Ding, L. (2021). Influences of Climate Change and Human Activities on NDVI Changes in China. *Remote Sensing*, 13(21), 4326. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13214326>.
- IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis report. Summary for policymakers. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>.
- Arfasa, G., Owusu-Sekyere, E., & Doke, D. (2023). Climate Change Projections and Impacts on Future Temperature, Precipitation, and Stream flow in the Veia Catchment, Ghana. *Environmental Challenges*, 14, 100813. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envc.2023.100813>.
- Шевченко, О. В., & Балабук, В. О. (2024). Вплив зміни клімату на природно-сільськогосподарське районування території України. *Екологічні науки*, 5(56), 222–231. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.34>.
- Polevoy, A., Kostiukeyevych, T., Tolmachova, A., & Zhygailo, O. (2021). The impact of climatic changes on forming the corn productivity in the western forest-steppe of Ukraine. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 25(1), 29–36. DOI: [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1\(109\)-4](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1(109)-4).
- Raichuk, L., Shvydenko, I., & Kuchma, T. (2024). Climatic risks and forest ecosystems: the interaction between deforestation and climate change. *Збалансоване природокористування*, 2, 56–62. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2024.309922>.
- Zhong, Y., Xue, Z., Davis, C. C., Moreno-Mateos, D., Jiang, M., Liu, B., & Wang, G. (2022). Shrinking habitats and native species loss under climate change: A multifactorial risk assessment of China's inland wetlands. *Earth's Future*, 10, e2021EF002630. DOI: <https://doi.org/10.1029/2021EF002630>.
- Potapov, P., Hansen, M. C., Pickens, A., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Turubanova, S., ... Komareddy, A. (2022). The global 2000–2020 land cover and land use change dataset derived from the Landsat archive: first results. *Frontiers in Remote Sensing*. DOI: <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.856903>.
- Global Land Project: Science Plan and Implementation Strategy. *UNT Digital Library*. URL: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc12009>.
- Copernicus Land Monitoring Service. *Copernicus Land Monitoring Service*. URL: <https://land.copernicus.eu/en>.
- Eisfelder, C., Asam, S., Hirner, A., Reiners, P., Holzwarth, S., Bachmann, M., ... Kuenzer, C. (2023). Seasonal Vegetation Trends for Europe over 30 Years from a Novel Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) Time-Series-The TIMELINE NDVI Product. *Remote Sensing*, 15(14), 3616. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15143616>.
- Rani, S., Singh, S., & Purohit, S. (2024). Evaluating Daytime and Nighttime Land Surface Temperature Pattern and Trends in India: A Comparative Analysis of Satellite and Reanalysis Data. *Earth Systems and Environment*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41748-024-00555-1>.
- NASA. *AIRS Project: AIRS Instrument Suite overview*. NASA Jet Propulsion Laboratory. URL: <https://airs.jpl.nasa.gov/>.
- Barnet, C. (2019). *Sounder SIPS: AQUA AIRS IR-only Level 3 CLIMCAPS: Comprehensive Quality Control Gridded Daily V2*, Greenbelt, MD, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). DOI: <https://doi.org/10.5067/BZBSA32DWAPN>.
- NASA. *Giovanni: NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center*. URL: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>.
- European Space Agency. (2025). *EO Browser. Copernicus Open Access Hub*. URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>.
- Jutz, S., & Milagro-Pérez, M. P. (2018). 1.06 — Copernicus Program, Editor(s): Shunlin Liang, *Comprehensive Remote Sensing, Elsevier*, 150–191. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10317-3>.
- Olmos-Trujillo, E., González-Trinidad, J., Jénez-Ferreira, H., Pacheco-Guerrero, A., Bautista-Capetillo, C., Avila-Sandoval, C., & Galván-Tejada, E. (2020). Spatio-Temporal Response of Vegetation Indices to Rainfall and Temperature in A Semiarid Region. *Sustainability*, 12(5), 1939. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12051939>.
- Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W., & Li, X. (2016). Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. *Remote Sensing*, 8(4), 354. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8040354>.
- Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні. Сер.: *Conservation Biology in Ukraine*. (2023). (Вип. 29). Київ—Чернівці: Друк Арт. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf.
- Satellite Applications and Research of NOAA's National Environmental Satellite Data Information Services. URL: <http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/>.
- Tarariko, O. H., Cruse, R. M., Iliencko, T. V., Kuchma, T. L., Kozlova, A. O., Anderieiev, A. A., ... Velychko, V. A. (2024). Impact of climate changes on aggroresources of Ukrainian Polissia based on geospatial data. *Agricultural Science and Practice*, 11(2), 3–29. DOI: <https://doi.org/10.15407/agrisp11.02.003>.
- QGIS Development Team. (n.d.). *QGIS Geographic Information System* (Ver. 3.34) [Computer software]. Open Source Geospatial Foundation.

24. Аністратенко, О. Ю., Дегтяренко, О. В., Аністратенко, В. В., & Фурик, Ю. І. (2023). Чужорідні види молюсків в континентальних водоймах України: від першої реєстрації до теперішнього часу. *Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні. Сер.: Conservation Biology in Ukraine*, 29, 15–25. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/2_Chuzhoridni_20.06_compressed.pdf.
25. Дегтяренко, О., Антоновський, О., & Аністратенко, В. (2019). Нові дані щодо видового складу молюсків Шацьких озер. У *Фауна України на межі ХХ–ХХІ ст. Стан і біорізноманіття екосистем природоохоронних територій: Матеріали Міжнарод. зоологічної конф., присвяченої 220 річниці від дня народження О. Завадського* (с. 64–66). Львів: СПОЛОМ. URL: https://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/09/Zbirnyk-SHats-k-2019_-1.pdf.
26. Дегтяренко, О. В., Антоновський, О. Г., & Аністратенко, В. В. (2021). «Пандемія» червоногого молюска *Potamopyrgus antipodarum* (Gray, 1843) в Українському Поліссі. У *Зоологія в сучасному світі: виклики ХХІ століття* (с. 71). Київ. URL: <http://mail.izan.kiev.ua/IZAN90-abstracts.pdf>.
27. ERA5 ECMWF/Copernicus Climate Change Service. URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ECMWF_ERA5_MONTHLY#description.
28. Sanchez, C., Mena, F., Charfuelan, M., Nuske, M., & Dengel, A. (2024). Assessment of Sentinel-2 Spatial and Temporal Coverage Based on the Scene Classification Layer, *IGARSS 2024 — 2024 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 4099–4103). Athens, Greece, DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS53475.2024.10642213>.

Стаття надійшла до редакції журналу 10.06.2025

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ БІОСИНТЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ *STREPTOMYCES AVERMITILIS*

Н.М. Сергійчук, Ю.В. Коломієць

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

e-mail: nataliiaserhiichuk@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6690-0114

e-mail: julyja12345@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1919-6336

Проведено аналіз сучасних наукових джерел щодо ефективних підходів підвищення біосинтетичного потенціалу за культивування *Streptomyces avermitilis*. Серед значного різноманіття стрептоміцетів, які відіграють ключову роль у сучасних біотехнологіях та медицині, штами *S. avermitilis* є найдосліджуванішими, оскільки мають потенціал синтезувати різноманітні біологічно активні сполуки, включаючи антибіотики та інші корисні речовини, зокрема авермектин. Серед ефективних методів підвищення виробництва корисних продуктів культурою *S. avermitilis* є генетичні маніпуляції та підбір середовища культивування, зокрема із застосуванням екзогенних метаболітів. Поєднання методів метаболічної інженерії, спрямованих на відповідні гени для постачання поживних елементів, зі стратегіями додавання живильних речовин визнано ефективними для штамів *Streptomyces* щодо оптимізації виробництва цільових сполук. Детально розглянуто поняття екзогенних метаболітів та їх значення для посилення біосинтетичного потенціалу *S. avermitilis*, що відкриває нові можливості для оптимізації процесу виробництва та підвищення виходу корисних сполук. Результати досліджень свідчать, що введення екзогенних метаболітів є перспективним напрямом для інтенсифікації виробництва вторинних метаболітів у біотехнологічних процесах. Ці метаболіти можуть слугувати як прекурсори для синтезу цільових продуктів або впливати на ензиматичні шляхи синтезу, покращуючи ефективність і швидкість реакцій. Водночас варто враховувати, що вплив екзогенних метаболітів може бути комплексним і залежить від конкретно внесеного виду метаболіту та його концентрації. Подальші дослідження в області взаємодії екзогенних метаболітів із культурою *S. avermitilis* здатні сприяти розробленню нових стратегій оптимізації процесу виробництва корисних продуктів. Розуміння впливу екзогенних метаболітів на біосинтетичний потенціал мікроорганізмів є ключовим для подальшого розвитку біотехнологій та медицини, зокрема вітчизняного штаму *S. avermitilis* IMB Ac-5015, що має важливе значення для медицини, ветеринарії і сільського господарства. Оптимізація складу та концентрації екзогенних метаболітів, а також розуміння їхнього впливу на біосинтетичні шляхи, є основними напрямками подальших досліджень у цій сфері.

Ключові слова: стрептоміцети, мікробна біотехнологія, біосинтез, екзогенні метаболіти, біологічно активні сполуки.

ВСТУП

Світ сучасної науки постійно шукає нові можливості для підвищення ефективності біосинтезу корисних сполук. Останніми десятиліттями технологічне застосування мікроорганізмів, відоме як мікробна біотехнологія, стало ключовим чинником у виробництві життєво важливих природних біологічно активних сполук, харчових продуктів, фармацевтичних препаратів, препаратів для сільського господарства та вирішення екологічних проблем [1; 2].

Саме завдяки мікроорганізмам протягом багатьох століть людство отримувало цінні й необхідні для життя та здоров'я продукти. Нині мікробна біотехнологія відіграє важливу роль у формуванні сучасних продовольчих систем, підвищенні продовольчої безпеки і просуванні сталих практик та є життєво необхідною стратегією для вирішення викликів світу, що швидко змінюється [3; 4].

Незважаючи на значні досягнення в мікробіології й біотехнології, такі проблеми, як оптимізація метаболічних шля-

хів, масштабування виробничих процесів і забезпечення дотримання нормативних вимог, залишаються істотними перешкодами для впровадження інновацій мікробної біотехнології та новим простором для досліджень. Подальший прогрес вимагає глибшого розуміння мікроорганізмів та їх властивостей.

Метою нашої роботи є аналіз результатів сучасних досліджень щодо посилення біосинтетичного потенціалу *Streptomyces avermitilis* для розробки нових стратегій підвищення виходу корисних природних продуктів.

МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Під час виконання дослідження використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів дослідження, які застосовують для оглядових робіт у галузі біології та біотехнології. Зокрема, методи узагальнення, порівняння й системного аналізу наукової літератури з відкритих міжнародних баз (Scopus, Web of Science, PubMed, Google Scholar) щодо штамів *Streptomyces*, поняття екзогенних метаболітів та їх впливу на біосинтетичний потенціал. Синтез та узагальнення інформації — для зібрання, обробки й узагальнення результатів наукових досліджень для формулювання висновків та рекомендацій щодо подальших напрямів досліджень.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Мікроорганізми визнано безцінними ресурсами для багатьох галузей, що відіграють ключову роль у виробництві широкого спектра біоактивних сполук та розробці біотехнологічних інструментів [5].

Серед усього біорізноманіття корисних мікроорганізмів, рід *Streptomyces* є одним із найуніверсальніших для біотехнологічного використання. Відповідно до різних фаз життєвого циклу та стадій метаболізму, представники *Streptomyces* можуть бути застосовані в різних біотехнологічних процесах [6; 7]. Це грампозитивні, аеробні, ниткоподібні, спороутворювальні бакте-

рії (родина *Streptomycetaceae*, клас *Actinobacteria*), які здатні рости в різних середовищах (у ґрунті, болотних екосистемах, прибережних морських середовищах) та колонізувати широкий спектр наземних і водних ніш. Вони утворюють ниткоподібний міцелій, схожий на еукаріотичні гриби [6; 8]. У відповідь на дефіцит поживних речовин або стресові сигнали навколишнього середовища, у *Streptomyces* відбуваються морфологічні зміни і вони починають продукувати вторинні метаболіти, які мають велику економічну цінність та широке потенційне застосування [9].

У фазі вторинного метаболізму *Streptomyces* здатні виробляти різноманітні біоактивні сполуки з високою комерційною цінністю. Власне саме ця їх властивість робить представників роду *Streptomyces* найперспективнішими у виробництві антибіотиків та інших біологічно активних сполук, що мають значення для різних галузей, зокрема медицині й ветеринарії, сільському господарстві, харчовій промисловості тощо.

Біологічно активні природні продукти, отримані з *Streptomyces*, виявляють антибактеріальну, протигрибкову, антигіпертензивну, противірусну, протипухлинну, імуносупресивну та інсектицидну дію. Продукти, одержані з *Streptomyces*, характеризуються своєю структурною різноманітністю, такою як аміноглікозиди, ансаміцини, глікопептиди, макроліди, терпени та тетрацикліни. Останні результати досліджень показують, що мікроорганізми цього роду спроможні продукувати майже на 150 тис. біоактивних сполук більше, ніж усі зареєстровані нині вторинні метаболіти *Streptomyces* [10]. Вторинні метаболіти стрептоміцетів — це різноманітні органічні сполуки, що не беруть безпосередньої участі в первинному рості культури, але мають різноманітне екологічне значення та біотехнологічне застосування.

Різноманітність хімічних структур вторинних метаболітів роду *Streptomyces* охоплює нерибосомні пептиди, полікетиди, рибосомно синтезовані та посттрансляційно модифіковані пептиди, терпени, ін-

доли, хінони та ін. Виявлені метаболіти поділяють на чотири групи: 1) регулятори росту; 2) антагоністичні агенти, до яких належать антипротозойні, антибактеріальні, протигрибкові та противірусні засоби; 3) агробіологічні препарати, до яких належать пестициди; 4) фармакологічні агенти, до яких належать неврологічні агенти, імуномодулятори, протипухлинні засоби та інгібітори ферментів [10].

У сучасних дослідженнях одним із ключових напрямів є пошук шляхів підвищення біосинтетичного потенціалу корисних видів мікроорганізмів, зокрема важливого виробничого виду *Streptomyces avermitilis* [7; 11]. Серед інших, цей вид є високоефективним продуцентом макроциклічних лактонів із біоцидними властивостями. Крім того, авермектин забезпечує ефективний контроль ектопаразитів та ендopаразитів, що має важливе значення у сфері охорони здоров'я людини, ветеринарії й сільському господарстві. Важливо, що він є сполукою, яка є нешкідливою для хазяїна (немає побічних ефектів), нецільових організмів та навколишнього середовища.

Представники роду *Streptomyces* відрізняються складним первинним і вторинним метаболізмом, циклом розвитку та можуть утворювати різноманітні природні продукти. Види *Streptomyces* мають генетичну здатність виробляти в середньому 30 вторинних метаболітів [8]. Первинні метаболіти — це низькомолекулярні речовини, необхідні для росту мікроорганізмів як мономерами для макромолекул та коферментів. Вони включають амінокислоти, вітаміни, органічні кислоти та цукри. Вторинні — це сполуки, які не потрібні для росту мікроорганізмів, але виділяються ними у зовнішнє середовище, як-от антибіотики, токсини, алкалоїди та гормони. Спроможність мікроорганізмів виділяти вторинні метаболіти використовується у біотехнології для отримання цінних речовин, як-от антибіотики, ферменти, біогас тощо [7; 12].

Streptomyces характеризується здатністю синтезувати антимікробні сполуки, зокрема як-от антибіотики, токсини та ін., що дає змогу ефективно контролювати

розвиток фітопатогенів [12–15]. Також *Streptomyces* можуть додатково знизити тиск збудників хвороб, стимулюючи елементи імунної системи рослини та підвищуючи продуктивність [16].

Українські мікробіологи, зокрема Г. Іутинська, Л. Білявська, Т. Галаган, В. Козиритська, Т. Петрук свою наукову роботу присвятили ґрунтовим стрептоміцетам. Із південного каштанового ґрунту було виділено ізоляти із роду *Streptomyces*, що проявляють антагонізм до деяких фітопатогенів і нематод, які зареєстровано в Депозитарії мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології імені Д.К. Заболотного НАН України й на основі яких розроблено біопрепарати для різних галузей. Зокрема, доведено високу антагоністичну активність штамів *Streptomyces netropsis* IMB Ac-5025, *S. avermitilis* IMB Ac-5015, *S. violaceus* IMB Ac-5027 щодо фітопатогенних грибів *Alternaria alternata* 16814, *Fusarium oxysporum* 54201 і *F. oxysporum* 33 та широкого спектра фітопатогенних бактерій родів *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Pantoea*, *Clavibacter* [12; 17]. Ці штами спричиняють, окрім антагоністичних, також і фітостимулювальні властивості. Встановлено, що штам *S. avermitilis* IMB Ac-5015 накопичує компоненти авермектинового комплексу лише в біомасі та виявляє активну дію проти фітопатогенів і нематод [12; 18].

На продукування вторинних метаболітів мікроорганізмів впливають різноманітні умови культивування, зокрема склад живильного середовища, співвідношення вуглець/азот, наявність іонів металів, температура, рН, концентрація кисню. На відміну від первинних метаболітів, які безпосередньо беруть участь у рості, розмноженні або розвитку мікроорганізмів, вторинні метаболіти часто опосередковують мікробні взаємодії в їхньому середовищі. У *Streptomyces* вторинний метаболізм зазвичай обмежується стаціонарною фазою і вважається, що він є результатом обмеження поживних речовин або зниження швидкості росту культури, та є сигналом для вторинного метаболізму.

Останніми роками активно розвиваються дослідження, спрямовані на підвищення потенціалу виробництва вторинних метаболітів мікроорганізмами, зокрема за внесення екзогенних метаболітів, вивчення чинників, що впливають на біосинтетичну здатність штамів [18; 19].

Серед найперспективніших джерел екзогенних метаболітів, які позитивно діють на культуру *S. avermitilis*, відзначають рослинні екстракти, мікробні ферменти та синтетичні сполуки. Знання про їх вплив на активність і біосинтетичний потенціал штамів *S. avermitilis* сприятиме розширенню асортименту біопродуктів та матиме важливе значення для різних галузей.

Екзогенні метаболіти — це хімічні сполуки (природні або синтетичні) необхідні для росту та розвитку організму, але не синтезуються ним самостійно, які застосовуються для підвищення продуктивності біосинтезу цільових метаболітів. Ці сполуки здатні регулювати метаболічні шляхи, активуючи захисні механізми та оптимізуючи метаболічні мережі. Їх вводять в організм або в культуру мікроорганізмів ззовні для впливу на їх метаболічну активність. Це можуть бути прекурсори, індуктори, регулятори або навіть інгібітори, які модулюють метаболічні шляхи, оптимізуючи вихід цільових продуктів.

Деякі екзогенні метаболіти можуть слугувати прекурсорами для синтезу бажаного продукту. Додавання таких сполук може збільшити швидкість та ефективність біосинтезу. Крім того, інші екзогенні метаболіти можуть впливати на ензиматичні шляхи синтезу, активуючи або інгібуючи окремі ферменти. Це може призвести до посилення виробництва цільових сполук або покращання їх якості [20]. Для виробничих штамів *S. avermitilis* ці метаболіти є важливими для стимулювання процесу біосинтезу корисних сполук.

Так, наприклад, доведено позитивний вплив екзогенного β -ситостеролу не лише на поділ клітин штаму *S. netropsis* IMB Ac-5025, а й на біосинтетичну здатність та накопичення полієнових антибіотиків та інших вторинних метаболітів, як-от стеро-

ли, ауксини й цитокініни [17]. Додавання β -ситостеролу збільшило як накопичення гептаєну кандидину та тетраєнових антибіотиків, так і їх виведення з клітин у культуральну рідину [21].

Деякі види *Streptomyces* мають певні недоліки у виробництві залізохелатних сполук, що пов'язано з їх споруджанням, а тому мають використовувати ті, що вивільняються іншими видами. Доведено, що введення очищених сидерофорів або спільне культивування з видами-продуцентами сидерофорів — це ефективні стратегії для виробництва вторинних метаболітів виробничими штамми стрептоміцетів [22].

Важливо враховувати, що вплив екзогенних метаболітів на штам *S. avermitilis* може бути складним. Деякі сполуки можуть мати стимулювальний ефект на біосинтез, тоді як інші — пригнічувати його. Також слід зважати на потенційну токсичність деяких екзогенних метаболітів для мікроорганізму, що може спричинити зниження виходів продукту або навіть до загибелі культури [23].

Серед екзогенних метаболітів найефективнішими є:

1. *Прекурсори біосинтезу*. Введення екзогенних прекурсорів здатне підвищити вихід кінцевих продуктів шляхом забезпечення необхідних будівельних блоків. Наприклад, додавання ізопренових одиниць, які є прекурсорами для синтезу тетрациклічних макроциклів авермектинів, сприяє збільшенню їх виробництва.

2. *Індуктори біосинтезу*. Деякі сполуки можуть діяти як індуктори, активуючи специфічні гени, що кодують ферменти біосинтетичних шляхів. Наприклад, введення низьких концентрацій бутирил- або пропіоніл-КоА зумовлює індукцію генного кластера авермектинів.

3. *Регулятори метаболічних шляхів*. Використання алостеричних регуляторів або інгібіторів ключових ферментів допомагає оптимізувати потік метаболітів через бажані шляхи. Це включає додавання екзогенних амінокислот або вітамінів, які здатні регулювати активність ферментів через зворотний зв'язок.

4. *Захисні агенти*. Деякі метаболіти спроможні захищати клітини від стресових умов, підвищуючи їх життєздатність і, відповідно, продуктивність. Наприклад, введення осмопротекторів (таурину, трегалози) допомагає стабілізувати клітинні мембрани та білки під час ферментації.

Використання екзогенних метаболітів дає можливість підвищити ефективність виробництва авермектинів у *S. avermitilis*. Це досягається за рахунок оптимізації метаболічних шляхів, індукції специфічних генів та підвищення стійкості клітин до стресових умов. Окрім того, застосування екзогенних метаболітів сприяє скороченню тривалості виробничого циклу та зменшенню витрат на ферментацію, що є важливим чинником у промисловому виробництві біологічно активних речовин [10].

Також перспективним напрямом поліпшення виробництва авермектину *S. avermitilis* є застосування мутагенезу. Як фізичний мутагенез використовують ультрафіолетові та гамма-промені, високомагнітне гравітаційне середовище, плазмовий струмінь. Такі сполуки, як метилметансульфонат, N-метил-N-нітро-N-нітрозогуанідин та азотиста кислота застосовують для хімічного мутагенезу [24].

Нещодавні досягнення в стратегіях синтетичної біології та генетичної маніпуляції *Streptomyces*, що включають пропозиції значної різноманітності синтетичних компонентів для генетичного інструментарію, а також нові підходи до видобутку геному, складання генетичних конструкцій та їх доставки в клітину, дали можливість поліпшити виробництво натуральних продуктів у промислових масштабах. Стратегії генної інженерії в *Streptomyces* включають експресію кількох копій цілих BGC, рефакторинг

BGC шляхом заміщення або модифікації нативних регуляторних елементів, експресію BGC в оптимізованих нативних або гетерологічних хазяїнах, експресію регуляторних генів та делецію генів, що кодують репресори. Однак, залишаються ключові проблеми в розробці генетичних методів для актиноміцетів, як-от відсутність відповідних векторів для перенесення ДНК, труднощі у внесенні ДНК у клітину шляхом проходження через товстий бар'єр клітинної стінки, обмеження екзогенно введеної ДНК, неефективна експресія генів через високий вміст GC тощо [25].

ВИСНОВКИ

Представники роду *Streptomyces* мають ключове значення у виробництві низки важливих біопродуктів для різних галузей промисловості. З метою підвищення біосинтетичного потенціалу виробничих штамів *Streptomyces* в усьому світі проводяться дослідження із використанням сучасних підходів, зокрема молекулярно-генетичних методів, генної інженерії та ін.

Серед ефективних методів посилення біосинтезу цільових продуктів штамми *S. avermitilis* та покращання їх якості є генетичні методи та додавання екзогенних метаболітів. Їх використання допомагає ефективно модулювати метаболічні процеси, збільшуючи вихід цільових продуктів, як-от авермектини. Врахування впливу конкретних метаболітів та їх концентрації дуже цінне для досягнення оптимальних результатів. Подальші дослідження в області взаємодії екзогенних метаболітів із *S. avermitilis* забезпечать запровадження нових стратегій оптимізації процесу виробництва корисних продуктів у промислових масштабах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Santos-Beneit, F. (2024). What is the role of microbial biotechnology and genetic engineering in medicine? *Microbiologyopen*, 13(2), e1406. DOI: <https://doi.org/10.1002/mbo3.1406>.
2. Pham, J. V., Yilma, M. A., Feliz, A., Majid, T. T., Maffetone, N., Walker, J. R., ... Yoon, Y. J. (2019). A review of the microbial production of bioactive natural products and biologics. *Front. Microbiol*, 10, 1404. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01404>.
3. Mirsalami, S. M., & Mirsalami, M. (2025). Advances in genetically engineered microorganisms: Transforming food production through precision fermentation and synthetic biology. *Future Foods*, 11, 100601. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100601>.
4. Дем'янюк, О. С., Гуменюк, І. І., Левішко, А. С.,

- Вакуленко, С. О., & Полтава, О. П. (2022). Екологічні аспекти формування стійких продовольчих систем. *Збалансоване природокористування*, 4, 119–128. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2022.275863>.
5. Maraz, K. M., & Khan, R. A. (2021). An overview on impact and application of microorganisms on human health, medicine and environment. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 14(01), 89–104. DOI: <https://doi.org/10.30574/gscbps.2021.16.1.0200>.
6. Barbuti, S., Cammarota, M., Schiraldi, C., & Restaino, O. F. (2020). Streptomycetes as platform for biotechnological production processes of drugs. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 105(2), 551–568. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-020-11064-2>.
7. Wackett, L. P. (2020). *Streptomycetes* in biotechnology. *Microb. Biotechnol.*, 13, 2077–2078. DOI: <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13677>.
8. Chevrette, M. G., Carlson, C. M., Ortega, H. E., Thomas, C., Ananiev, G. E., Barns, K. J., ... Currie, C. R. (2019). The antimicrobial potential of *Streptomyces* from insect microbiomes. *Nat. Commun.*, 10(1), 516. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08438-0>.
9. Chater, K. F. (2016). Recent advances in understanding Streptomycetes. *F1000Res*, 5, 2795. DOI: <https://doi.org/10.12688/f1000research.9534.1>.
10. Lacey, H. J., & Rutledge, P. J. (2022). Recently Discovered Secondary Metabolites from *Streptomyces* Species. *Molecules*, 27(3), 887. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules2703088787>.
11. Rodríguez, M., Cuervo, L., Prado-Alonso, L., González-Moreno, M. S., Olano, C., & Méndez, C. (2024). The role of *Streptomyces* to achieve the United Nations sustainable development goals. Burning questions in searching for new compounds. *Microb. Biotechnol.*, 17, e14541. DOI: <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14541>.
12. Білявська, Л. О., Галаган, Т. О., & Іутинська, Г. О. (2016). Антинематодна активність метаболітів, що продукуються ґрунтовими стрептоміцетами. *Мікробіологічний журнал*, 78(4), 34–47.
13. Mani, J., Kandasamy, D., Vendan, R. T., Sankarasubramanian, H., Mannu, J., & Nagachandrabose, S. (2024). Unlocking the potential of *Streptomyces* species as promising biological control agents against phytonematodes. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 134, 102465. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmp.2024.102465>.
14. Khan, S., Srivastava, S., Karnwal, A., & Malik, T. (2023). *Streptomyces* as a promising biological control agents for plant pathogens. *Front. Microbiol.*, 14, 1285543. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1285543>.
15. Vurukonda, S. S. K. P., Giovanardi, D., & Stefani, E. (2018). Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. *Int. J. Mol. Sci.*, 19, 952. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms19040952>.
16. Olanrewaju, O. S., & Babalola, O. O. (2019). *Streptomyces*: Implications and interactions in plant growth promotion. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 103, 1179–1188. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-018-09577-y>.
17. Loboda, M., Biliavska, L., Iutynska, G., Newitt, J., & Mariychuk, R. (2024). Natural Products Biosynthesis by *Streptomyces netropsis* IMV Ac-5025 under Exogenous Sterol Action. *Antibiotics*, 13(2), 146. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics13020146>.
18. Іутинська, Г. О., Козиритська, В. Е., Білявська, Л. О., & Петрук, Т. В. (2004). Штам *Streptomyces avermitilis* — продуцент авермектинів, речовин протипаразитарної дії. Патент 69639А. Україна. СІ2N1/20 №2003109795.
19. Méndez-Hernández, J. E., Rodríguez-Durán, L. V., Pérez-Lerma, J. B., & Soto-Cruz, N. O. (2023). Strategies for Supplying Precursors to Enhance the Production of Secondary Metabolites in Solid-State Fermentation. *Fermentation*, 9(9), 804. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation9090804>.
20. Rohmer, M., Knani, M., Simonin, P., Sutter, B., & Sahn, H. (1993). Isoprenoid biosynthesis in bacteria: a novel pathway for the early steps leading to isopentenyl diphosphate. *Biochem J*, 295(2), 517–524. DOI: <https://doi.org/10.1042/bj2950517>.
21. Loboda, M., & Biliavska, L. (2021). Biosynthesis of Polyene Antibiotics and Phytohormones under the Action of Exogenous β -Sitosterol by Soil Streptomycete *Streptomyces netropsis* IMV Ac-5025. In *Proceedings of the Modern Biotechnologies — Solutions to the Challenges of the Contemporary World, Chisinau, Moldova*; Institute of Microbiology and Biotechnology: Chişinău, Moldova.
22. Antoraz, S., Santamaría, R.I., Díaz, M., Sanz, D., & Rodríguez, H. (2015). Toward a new focus in antibiotic and drug discovery from the *Streptomyces* arsenal. *Front. Microbiol.*, 6, 461. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00461>.
23. Zauber, H., Burgos, A., Garapati, P., & Schulze, W. X. (2014). Plasma membrane lipid-protein interactions affect signaling processes in sterol-biosynthesis mutants in *Arabidopsis thaliana*. *Front Plant Sci*, 5, 78. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00078>.
24. Chen, J., Liu, M., Liu, X., Miao, J., Fu, C., Gao, H., ... Zhang, L. (2016). Interrogation of *Streptomyces avermitilis* for efficient production of avermectins. *Synthetic and Systems Biotechnology*, 1(1), 7–16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.synbio.2016.03.002>.
25. Krysenko, S. (2025). Current Approaches for Genetic Manipulation of *Streptomyces* spp. — Key Bacteria for Biotechnology and Environment. *BioTech*, 14(1), 3. DOI: <https://doi.org/10.3390/biotech14010003>.

Стаття надійшла до редакції журналу 21.07.2025

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ЗА КОМПЛЕКСОМ ФІТОСАНІТАРНИХ ПОКАЗНИКІВ

В.І. Стародуб, Є.Д. Ткач

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

e-mail: myrzavica88@ukr.net; ORCID: 0000-0003-3883-9453

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

У статті представлено результати комплексної екологічної оцінки сучасних технологій вирощування ключових сільськогосподарських культур в Україні: пшениці озимої, ріпаку ярого, кукурудзи, соняшника, сої та гречки. Дослідження зосереджено на фітосанітарному стані агроценозів, який у сучасних умовах є критичним чинником, що визначає якість, урожайність та екологічну стійкість культур. Зважаючи на зростання антропогенного навантаження, кліматичні зміни та еволюцію резистентних хвороб, шкідників і бур'янів, інтенсивне використання агрохімікатів становить серйозний ризик для агроєкосистем. Методологія дослідження ґрунтувалася на моніторингу посівів упродовж вегетаційного періоду культур. У ході досліджень ретельно проаналізовано гербокритичні періоди культур, ідентифіковано видовий склад та рівень забур'яненості посівів. Серед домінантних бур'янів виявлено ромашку непахучу, підмаренник чіпкий, лободу білу та осот рожжевий. Встановлено поширення та інтенсивність ураження ключовими шкідниками, як-от злаковий трипс і червоногруда п'явиця на пшениці озимій, хрестоцвіті блішки і ріпаківий квіткоїд на ріпаку ярому. Серед хвороб, що завдають найбільшої шкоди культурним рослинам, визначено поширення та розвиток фузаріозу колоса та борошнистої роси на пшениці, а також білу та сіру гнилі на ріпаку ярому у фазі наливу стручка. На основі комплексу фітосанітарних показників було застосовано бальну систему екологічної оцінки, яка класифікує технології за трьома класами: незадовільний (1 бал), задовільний (2 бали) та нормальний (3 бали). Зафіксовано, що фітосанітарний стан посівів пшениці озимої, ріпаку ярого та гречки органічної переважно належить до незадовільного або задовільного класів, який свідчить про високий ризик для цих культур. Натомість для кукурудзи, соняшника та сої визначено дещо кращі показники, які досягали нормального стану за умови комплексного внесення добрив і засобів захисту рослин. Загалом, отримані результати досліджень підкреслюють необхідність інтеграції екологічних критеріїв в агротехнології для забезпечення стійкості аграрного виробництва.

Ключові слова: агроценоз, шкідники, хвороби, бур'яни, фітобіота, ЕПШ (економічний поріг шкодочинності).

ВСТУП

У сучасному світі, де науково-технічний прогрес постійно зростає, відносини між людством і природою стають дедалі складнішими. Хоча люди отримали можливість впливати на природні процеси, але часто це призводить до забруднення довкілля. В Україні ця проблема набула особливої гостроти.

Понад 25% сільськогосподарських угідь України забруднені пестицидами, радіонуклідами та неорганічними токсикантами. Крім того, понад 50% територій стражда-

ють від втрати родючості ґрунтів. Це безпосередньо впливає на врожайність — урожай основних сільськогосподарських культур може скоротитися на 50–60%, а якість продукції значно погіршується.

Нераціональне використання земель призводить до накопичення промислових і побутових відходів, забруднення ґрунтів і природних вод, а також до збіднення біорізноманіття у напівприродних фітоценозах.

Основна причина погіршення стану природних ресурсів в агроєкосистемах полягає у використанні недосконалих техно-

логій вирощування культур або в порушенні існуючих технологічних процесів. Сільське господарство, як жодна інша галузь, тісно пов'язано з природними ресурсами. Тому воно має розглядатися як постійно діючий механізм охорони, культивування та відтворення природних багатств.

Для забезпечення стабільного функціонування агроєкосистем і збереження біорізноманіття, необхідно знизити інтенсифікацію господарської діяльності або екологізувати її. Цього можна досягти лише за допомогою превентивної оцінки технологій, які спроможні призвести до зниження родючості ґрунтів, погіршення якості продукції, забруднення вод чи знищення флори й фауни.

Тому, отримання якісної та безпечної продукції рослинництва можливе лише за умови одночасного дотримання двох важливих чинників:

- визначення придатності сільськогосподарських угідь для виробництва екологічно чистої продукції;
- проведення екологічної оцінки технологій вирощування культур.

Цей комплексний підхід допоможе створити збалансовану агроєкосистему і гарантувати стає майбутнє для сільського господарства України.

Отже, **метою дослідження** було провести екологічну оцінку технологій вирощування сільськогосподарських культур за комплексом фітосанітарних показників (за показниками забур'янення, поширення хвороб та шкідників), для того щоб визначити вплив технологій вирощування на стан посівів у конкретному господарстві.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У контексті загальної сільськогосподарської політики Європейського Союзу (CAP, 2025) особлива увага приділяється агроєкологічним індикаторам (AEI). Наприклад, індикатору № 7 IRENA, який пропонує комплексний підхід до оцінки екологічної стійкості агроландшафтів, охоплюючи показники родючості ґрунту, фітосанітарного стану, якості та продуктивності

продукції. У цьому дослідженні представлено результати екологічної оцінки технологій вирощування сільськогосподарських культур за фітосанітарним станом [1].

Антропогенне навантаження, зумовлено науково-технічним прогресом, призвів до деградації сільськогосподарських угідь та забруднення агроєкосистем в Україні. Понад чверть сільськогосподарських земель забруднені токсинами, а більше половини втрачають родючість, спричиняючи значні недобори врожаю та погіршення якості продукції. Це, своєю чергою, викликає сумніви щодо її безпеки для споживання.

Надмірна експлуатація ресурсів та ігнорування сівозмін, а також недосконалі технології вирощування, є ключовими проблемами. Сільськогосподарський сектор, зважаючи на його нерозривний зв'язок із природними екосистемами, має бути інституційно переосмислений від виробничої моделі до системи, що інтегрує функції охорони та відновлення природних ресурсів.

Принципи екологічної оцінки технологій вирощування сільськогосподарських культур є основоположними для забезпечення сталого розвитку агропромислового комплексу. Їхня реалізація спрямована на гарантування безпечного для життя та здоров'я людей і навколишнього природного середовища функціонування аграрних систем.

До ключових засад, що визначають методологію екологічної оцінки, належать:

- збалансованість екологічних, економічних та соціальних інтересів. Цей принцип вимагає інтеграції критеріїв екологічної безпеки в економічні розрахунки, що допоможе не лише оцінювати рентабельність, а й мінімізувати довгострокові негативні наслідки для довкілля;
- наукова обґрунтованість. Оцінка має базуватися на достовірних емпіричних даних, результатах експериментальних досліджень та використанні сучасних методів екотоксикологічного аналізу;
- превентивність (запобіжність). Основне завдання полягає не в констатації вже

існуючих проблем, а в прогнозуванні та запобіганні потенційних екологічних ризиків ще на етапі планування та впровадження технологій.

Питаннями вивчення та вдосконалення методології екологічної оцінки технологій вирощування сільськогосподарських культур займалися провідні вітчизняні вчені в галузі агроекології. Зокрема, значний внесок у розвиток цього напрямку досліджень зробили такі дослідники, як Н.А. Макаренко, В.І. Бондар, Є.Д. Ткач, О.В. Тогачинська, І.В. Парашенко та ін., чії праці заклали основу для формування сучасних підходів до біобезпеки в сільському господарстві [2–4].

Сучасний підхід вимагає переходу від констатації фактів до превентивного управління, тобто уникнення негативних ефектів до їх виникнення. Це означає зниження інтенсивності або екологізацію господарської діяльності та превентивну оцінку технологій вирощування для запобігання зниженню родючості ґрунтів, забрудненню та втраті біорізноманіття.

Тому, виробництво якісної та безпечної рослинницької продукції можливе лише за умови визначення придатності угідь та екологічної оцінки агротехнологій. Утім запровадження системи превентивного управління природокористуванням, екологізація виробничих процесів та адаптивне землеробство є основними шляхами до екологічної рівноваги в аграрному секторі. Це дасть можливість забезпечити як екологічну безпеку виробництва, так і підвищення якості сільськогосподарської продукції, а також збереження природних ресурсів та біорізноманіття.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Екологічну оцінку технологій вирощування сільськогосподарських культур проводили на полях Сквирської дослідної станції органічного виробництва (СДСОВ) Інституту агроекології і природокористування НААН (м. Сквир, Київська обл.). Дослідження виконано на зернових (пшениці озимій сорту Скаген, кукурудзі гіб-

рида Піонер Р8834), олійних (соняшника сорту НСХ-555, ріпаку яром сорту Сріблястий), зернобобових (сої сорту Мен-тор), круп'яних (гречці органічній сорту Амазонка) впродовж вегетаційного періоду 2023–2024 рр.

Схема дослідів передбачала такі варіанти: 1. Контроль; 2. Добриво; 3. Гербіцид; 4. Інсектицид; 5. Фунгіцид; 6. Добриво + гербіцид + інсектицид + фунгіцид (ДГПФ). У посівах гречки органічної не використовували добрива та засоби захисту рослин. Схема дослідів передбачала механічний обробіток із застосуванням штиргельної борони. Усі добрива та засоби захисту рослин обиралися відповідно до агротехніки вирощування культур та наведені в *табл.* (за торговими назвами та нормою витрати) [5]. Облікова площа дослідної ділянки — 25 м², повторюваність — 4-разова [6].

Екологічну експертизу технологій вирощування сільськогосподарських культур здійснювали за показником фітосанітарного стану, а саме за показниками забур'янення, поширення шкідників та хвороб [2].

Усі отримані результати за кожним показником перераховували у бали відповідно до бальної системи. Далі, на основі балів за кожним показником, розраховували сукупну комплексну екологічну оцінку (бал) технології та клас стану агроценозу залежно від варіантів.

Вплив технологій на екологічний стан агроценозів оцінювали за класами:

- I клас — незадовільний стан (відхилення від оптимуму в бік погіршення перевищує 25%);
- II клас — задовільний стан (відхилення від оптимуму в бік погіршення понад 10%, але не перевищує 25%);
- III клас — нормальний стан (відхилення від оптимуму в бік погіршення не перевищує 10%);
- IV клас — оптимальний стан (відхилення від оптимуму в бік погіршення не спостерігається).

Визначення досконалості технологій вирощування культур за екологічними показниками використовували за такою градацією технологій:

- I <1,5 бала — технологія недосконала і не може бути рекомендована виробництву;
- II 1,5–2,4 бала — технологія перед впровадженням у виробництво потребує істотного доопрацювання;
- III 2,5–2,9 бала — у технології потребують доопрацювання окремі технологічні процеси;
- IV 3,0 бали — технологія досконала і може бути рекомендована виробництву [2].

За вищезазначеними балами оцінювали досконалість технологій вирощування сільськогосподарських культур та їх вплив на фітосанітарний стан угідь.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Екологічну оцінку технологій вирощування за фітосанітарними показниками проводили блоками, в період вегетації, окремо для кожної досліджуваної культури, де зазначали видовий та кількісний склад бур'янів, шкідників та хвороб.

Відомо, що для обмеження бур'янів у посівах культур застосовують гербіциди, для зменшення кількості шкідників та збудників хвороб — інсектициди та фунгіциди, що рекомендовані Переліком пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. Однак, Перелік... не розмежовує окремо, наприклад, гербіциди для осіннього та весняного застосування [5]. Тому для контролю бур'янів у посівах пшениці озимої восени слід орієнтуватися на характеристики препаратів. Зокрема, важливим для обприскування в осінній період є застосування гербіцидів, які зберігають свою технічну ефективність в умовах відносно низьких температур повітря (не нижче за +5°C) та їхнім регламентом передбачено обробку посівів під час етапів органогенезу, які проходить культура в осінній період.

Використання гербіцидів у посівах сільськогосподарських культур сприяє значному зменшенню забур'яненості посівів і підвищенню врожайності зерна, зниженню його засміченості насінням бур'янів. Окрім

того, відомо, що гербіциди на 40,4–62,2% зменшують надходження запасів насіння бур'янів у ґрунт.

Щодо інсектицидів та фунгіцидів, то їх треба використовувати в період вегетації культур, якщо щільність популяції шкідників того чи іншого виду, залежно від фази розвитку рослини, перевищує рівень ЕПШ, а інтенсивність поширення та ступінь ураження (розвитку) хвороб під час візуального огляду рослин, окомірно, переважає кількість здорових та хворих за відповідним балом [6].

Фітосанітарний стан агроценозу пшениці озимої. Фітосанітарний стан сільськогосподарських культур має велике значення під час формування врожаю. Шкодочинність бур'янів у посівах сільськогосподарських культур значною мірою залежить від фази розвитку культури. Фаза, коли засміченість посівів завдає їм максимальної шкоди, є гербокритичним періодом. Наприклад, у пшениці озимої він триває впродовж 30–40 діб після появи сходів. За цей час бур'яни можуть значно вплинути на рівень закладення продуктивності культури, адже саме тоді формується забур'яненість посівів, оскільки близько 85% видів бур'янів, що зустрічаються в посівах озими, належать до озимих або зимуючих. В осінній період бур'яни формують розетки з прилеглими до землі листками та добре розвинену кореневу систему, що забезпечує їм сприятливу перезимівлю [7; 8].

Під час здійснення обстежень виявлено основні бур'яни, що засмічували посіви пшениці озимої. Серед них траплялися дводольні зимуючі, озимі та дворічні види: ромашка непахуча, фіалка польова, підмаренник чіпкий, сокирки польові, грицики звичайні, зірочник середній. Дводольні ярі бур'яни були представлені насамперед лободою білою (*Chenopodium album* L.), амброзією полинолистогою (*Ambrosia artemisiifolia* L.), гірчаком розлогим, руткою лікарською (*Fumaria officinalis* L.), щирцею звичайною (*Amaranthus retroflexus* L.). Серед дводольних багаторічних бур'янів найбільше виявлено осоту рожевого (*Cirsium arvense* L.), березки польової (*Convolvulus*

arvensis L.) та молочаю лозяного (*Euphorbia virgata* W.K.). Крім наведених вище бур'янів, до групи помірно поширених можна віднести серед дводольних малорічних видів скереду покрівельну (*Crepis tectorum* L.), злинку канадську (*Erigeron canadensis* L.), резеду жовту (*Reseda lutea* L.), а серед дводольних багаторічних — льоннок звичайний (*Linaria vulgaris* Mill.).

У весняний період, після відновлення вегетації пшениці озимої, було виявлено поширення шкідників, що значно перевищували норми ЕПШ (економічного порогу шкодочинності). Серед них розповсюджені такі види:

- трипс злаковий (*Limothrips denticornis* Hal.) за ЕПШ 12–16 особ./стебло, в посівах визначено близько 27,7–53,0 особ./стебло;
- п'явця червоногруда (*Oulema melanopus* L.) за ЕПШ 0,8–1,2 особ./стебло, виявлено від 17,0–22,0 особ./стебло;
- клоп шкідлива черепашка (*Eurygaster integriceps* Put.) за ЕПШ 3–4 шт./м², у посівах було 11,7–32,5 шт./м²;
- попелиця велика злакова (*Sitobion avenae* F.) за ЕПШ 2–4 особ./стебло, виявлено 10,0–24,0 особ./стебло.

У період проведення досліджень встановлено поширення хвороб на пшениці озимій, серед яких найбільшу загрозу для культури становили: фузаріоз колоса (*Fusarium graminearum* Link.), септоріозна гниль (*Septoria graminum* Desm.), борошниста роса (*Blumeria graminis* (DC) Speer.).

Фітосанітарний стан агроценозу сої.

Під час обліків щодо виявлення бур'янів визначено, що посіви сої засмічували однорічні ярі бур'яни, як-от щириця біла (*Amaranthus albus* L.) та звичайна (*Amaranthus retroflexus* L.), гірчак шорсткий (*Persicaria lapathifolia* L.), редька дика (*Raphanus raphanistrum* L.), мак дикий (*Papaver rhoeas* L.), мишій сизий (*Setaria glauca* L.), гірчиця польова (*Sinapis arvensis* L.), лобода біла (*Chenopodium album* L.), а також зимуючі — грицики звичайні (*Capsella bursa pastoris* L. Medic.), осот польовий (*Cirsium arvense* L.).

Під час проведення досліджень в агроценозі сої встановлено поширення шкідників таких видів, як:

- люцерновий клоп (*Adelphocoris lineolatus* Goeze) за ЕПШ 40–50 особ. імаго та личинок старших віків на 50 одиноких помахів сачка, визначено 22 особ. у період від початку бутонізації до повного наливання бобів (облік проводили до світанку);
- ковалик смугастий (*Agriotes lineatus* L.) за ЕПШ 4–8 особ./м², відмічено на початку розвитку рослин сої 9 особ./м²;
- акацієва вогнівка (*Etiella zinckenella* Tr.) за ЕПШ 2–3 яйця/роsl., виявлено 7–8 яєць/роsl.;
- чортополохівка (*Vanessa cardui*) за ЕПШ 1–3 гус./м², було 1–2 гус./м².

Також у період вегетації сої під час обстежень рослин візуально, а потім і в лабораторних умовах визначено збудників хвороб, серед яких були такі: септоріоз або плямистість (*Septoria glycines* T. Hemmi.), бактеріальний опік (*Pseudomonas syringae* pv. *tabaci*), несправжня борошниста роса або пероноспороз (*Peronospora manshurica* Sydow.), мозаїка сої (*Soybean mosaic virus*). Втім поширення вищезазначених хвороб коливалося в межах 3,5–6,5%, а розвиток був на рівні 6,3–20,9% [9].

Фітосанітарний стан агроценозу ріпаку ярого. Під час виконання досліджень виявлено основні засмічувачі посівів ріпаку ярого, серед яких найчастіше траплялися дводольні зимуючі, озимі та однорічні, а саме: фіалка польова (*Viola arvensis* L.), ромашка непахуча (*Tripleurospermum maritimum* L.), підмаренник чіпкий (*Galium aparine* L.), грицики звичайні (*Capsella bursa pastoris* L. Medic.), талабан польовий (*Thlaspi arvense* L.) та зірочник середній (*Stellaria media* L. Vill.). Однорічні ярі бур'яни були представлені такими видами, як гірчиця польова (*Sinapis arvensis* L.), лобода біла (*Chenopodium album* L.), щириця біла (*Amaranthus albus* L.) та звичайна (*Amaranthus retroflexus* L.), гірчак шорсткий (*Persicaria lapathifolia* L.), редька дика (*Raphanus raphanistrum*), мак дикий (*Papaver rhoeas* L.),

мишій сизий (*Setaria glauca* L.) та зелений (*Setaria viridis* L.), амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia* L.).

У період вегетації ріпаку ярого було визначено поширення шкідників, що значно перевищували норми ЕПШ. Серед них розповсюджені такі види:

- блішки хрестоцвіті (*Phyllotreta nemorum* L.) за ЕПШ 4–5 комах/м² в посівах визначено близько 13,0–24,7 комах/м²;
- ріпаковий квіткоїд (*Meligethes aeneus* F.) за ЕПШ 3–5 жук/роsl., в посівах виявлено 6,7–16,3 жук/роsl.;
- попелиця капустиана (*Brevicoryne brassicae* L.) за ЕПШ — 2 колонії/м², в посівах зафіксовано 7,0–11,0 колоній/м².
- ріпаковий прихованохоботник насіннєвий (*Ceuthorrhynchus assimilis* Payk.).

Серед хвороб ріпаку ярого виявлено поширення білої гнилі (*Sclerotinia sclerotiorum* Lib.), сірої гнилі (*Botrytis cinerea* Fn.), циліндроспоріозу (*Cylindrosporium concentricum* Grev.), чорної плямистості (*Alternaria brassicae* Sacc.). Розвиток хвороб становив від 0,22–1,65%, а розповсюдження було у межах 11,1–19,5% [10; 11].

Фітосанітарний стан агроценозу сояшника. Під час обліків щодо визначення бур'янів встановлено, що посіви сояшника засмічували однорічні ярі бур'яни, як-от гірчак шорсткий (*Persicaria lapathifolia* L.), редька дика (*Raphanus raphanistrum* L.), мак дикий (*Papaver rhoeas* L.), мишій сизий (*Setaria glauca* L.), гірчиця польова (*Sinapis arvensis* L.), лобода біла (*Chenopodium album* L.), щириця біла (*Amaranthus albus* L.) та звичайна (*Amaranthus retroflexus* L.).

Також у процесі проведення досліджень зафіксовано поширення шкідників, що перевищували норми ЕПШ. Серед них розповсюджені такі види:

- сояшникові вогнівка (*Homoecia nebulellum* Schiff.) за ЕПШ 8–10 гус./м², виявлено 21,7–35,3 гус./м²;
- довгоносик сірий буряковий (*Tanymecus palliatus* F.) за ЕПШ 2 імаго/м², у посівах відмічено 2–26 імаго/м²;

- лучний метелик (*Loxostege sticticalis* L.) за ЕПШ 8–10 гус./м², було 10,3–44,7 гус./м²;
- попелиця геліхризова (*Brachycaudus heliychrisi* Kalt.) за ЕПШ 20% заселених рослин, у посіві відмічено 17,7–46,7 заселених рослин шкідником;
- совка люцернова (*Heliothis dipsacae* L.);
- шипоноса сояшникова (*Mordellistena parvula* Gyll.) за ЕПШ 15–20 лич./стебло, у посівах зазначено від 22,7–54,7 лич./стебло.

Серед хвороб сояшника виявлено фомоз (*Phoma oleracea* Sass.), іржу (*Puccinia helianthi*), несправжню борошністу росу (*Plasmopara helianthi* Nov.), фомопсис (*Phomopsis helianthi*). Розвиток хвороб становив 4,6–24,0%, поширення було у межах 2,0–6,5% [12].

Фітосанітарний стан агроценозу кукурудзи. Під час обліків бур'янів визначено, що посіви кукурудзи засмічували однорічні ярі бур'яни, як-от гірчак шорсткий (*Persicaria lapathifolia* L.), редька дика (*Raphanus raphanistrum* L.), мак дикий (*Papaver rhoeas* L.), мишій сизий (*Setaria glauca* L.), гірчиця польова (*Sinapis arvensis* L.), лобода біла (*Chenopodium album* L.), щириця біла (*Amaranthus albus* L.) та звичайна (*Amaranthus retroflexus* L.).

Крім того, у процесі проведення досліджень встановлено поширення шкідників, що перевищували норми ЕПШ. Серед них розповсюджені такі види:

- стебловий (кукурудзяний) метелик (*Ostrinia nubilalis*) за ЕПШ 2 гус./роsl., виявлено 4 гус./роsl.;
- бавовникова совка (*Helicoverpa armigera*) за ЕПШ 2–3 гус./стебло, виявлено 8,2–10,4 гус./стебло.

Серед хвороб кукурудзи зафіксовано пухирчасту сажку (*Ustilago zae* Beckm.), летючу сажку (*Sphacelotheca reiliana* (Kuhn) G.P. Clinton), гелмінтоспоріоз листків (*Helminthosporium turcicum* Pass.). Розвиток хвороб становив 6,5–21,8%, поширення було на рівні 2,1–5,5% [12].

Фітосанітарний стан агроценозу гречки за органічної системи вирощування.

Під час здійснення обліків бур'янів визначено, що посіви гречки органічної засмічували такі однодольні види, як метлюг звичайний (*Apera spica-venti* L.), пирій повзучий (*Elymus repens* (L.) Gould), мишій сизий і зелений (*Setaria glauca* L. Beauv., *Setaria viridis* (L.) Beauv.).

Серед дводольних не менш проблемних бур'янів виявлено такі основні види, як: осот жовтий польовий (*Sonchus arvensis* L.), осот рожевий (*Cirsium arvense* L.), лобода біла (*Chenopodium album* L.), гірчиця польова (*Sinapis arvensis* L.), щиріця звичайна (*Amaranthus retroflexus* L.), березка польова (*Convolvulus arvensis* L.), молочай лозняний (*Euphorbia virgata* W.K.), капуста польова (*Brassica campestris* L.), гірчак безрезоподібний (*Polygonum convolvulus* L.) та ін.

Відомо, що гречку пошкоджують близько 20 багатодільних видів шкідників. Під час виконання обліків визначено таких шкідників, що значно перевищували рівень ЕПШ: листовішк гречкова (*Chaetocnema concinna* Marsh.) за ЕПШ 2,7–7 особ./м² в посівах виявлено 3–5 особ./м². Лучний метелик (*Margaritita sticticalis* L.) за ЕПШ 3–4 особ./роsl., виявлено поодинокі трапляння шкідника 1–2 особ./роsl., комарик гречковий (*Wachtia persicia* L.) за ЕПШ до 20 лич./стебло, виявлено до 10 лич./стебло.

Серед хвороб в посівах гречки встановлено фітофтороз (*Phytophthora parasitica* Dastur), несправжню борошністу росу (*Peronospora fagopyri* Elenov.), церкосороз (*Cercospora fagopyri* Abramov) до того ж поширення вищезазначених хвороб коливалось у межах 2,9–57,5%, а розвиток був на рівні 7,6–25,9%.

Аналізуючи фітосанітарний стан посівів сільськогосподарських культур, визначено вплив шкідливих організмів на культурні рослини. Тому в господарстві застосовували хімічний метод боротьби, спрямований на зменшення кількості або знищення таких організмів, як шкідники, хвороби та бур'яни в період вегетації.

Дослідження доводять, що внесення гербіцидів восени дає змогу вирішити од-

разу обидві проблеми: попередити формування засміченості посівів і завдяки цьому покращити їхню майбутню продуктивність, а також зменшити «конкурентів» пшениці та інших озимих культур за весняного відновлення вегетації.

Загалом, технології вирощування сільськогосподарських культур за комплексом показників фітосанітарного стану виявилися нормальними (III клас), задовільними (II клас) та незадовільними (I клас). Так, посіви пшениці озимої за екологічної оцінки технологій за фітосанітарними показниками, а саме за показниками забур'янення та поширення хвороб, мали незадовільний (1 бал) та задовільний (2 бали) стан. У досліджуваних агроценозах пшениці озимої ЕПШ бур'янів, шкідників та хвороб значно перевищували норму. Загальна оцінка коливалась у межах 1,0–2,3 бала за варіантами та була задовільною (табл.).

Така сама ситуація щодо фітосанітарного стану спостерігалася у посівах гречки органічної. Під час оцінювання технологій вирощування культури за фітосанітарними показниками встановлено, що вони є незадовільними (1 бал) за показниками поширення шкідників у посіві гречки та задовільними (2 бали) за показником поширення хвороб та забур'янення.

Посіви ріпаку ярого, кукурудзи та сояшника – незадовільний (1 бал), задовільний (2 бали) та нормальний стани (3 бали). Так, посіви ріпаку ярого за всіма показниками – задовільний (2 бали), втім загальна екологічна оцінка відповідала показнику 2,0.

Посіви сояшника мали задовільний (2 бали) за показниками забур'янення та нормальний стан (3 бали) за показниками поширення шкідників та хвороб, до того ж загальна екологічна оцінка відповідала показнику 2,6.

Агроценоз кукурудзи був незадовільний (1 бал) за показниками забур'янення, задовільний (2 бали) за показниками поширення хвороб та нормальний стан (3 бали) за показниками поширення шкідників. Загальна екологічна оцінка становила 1,6.

**Екологічна оцінка технологій вирощування культур
за комплексом фітосанітарних показників**

№ п/п	Варіант/норма внесення (л/га, кг/га)	За показниками забур'янення	За поширен- ням шкідників	За поширен- ням хвороб	Екологіч- на оцінка
<i>Пшениця озима</i>					
1	Контроль	1	1	1	1,0
2	Селітра аміачна (60)	2	1	2	1,6
3	Калібр 75 (0,06)	2	1	2	1,6
4	Атрікс, КЕ (0,3)	2	2	2	2,0
5	Старк (0,8)	1	2	2	1,6
6	Селітра аміачна (60) + Калібр 75 (60,0) + Атрікс, КЕ (0,3) + Старк (0,8)	2	2	3	2,3
<i>Ріпак ярий</i>					
1	Контроль	1	1	1	1,0
2	Росаферт NPK 12-24-12+9S+6,7 Са (60)	1	1	1	1,0
3	Гардоміл 960 ЕС, КЕ (1,6)	2	2	1	1,6
4	Кайзо (0,2)	1	2	1	1,3
5	Амістар Екстра 280 SC (0,5)	1	1	1	1,0
6	Росаферт NPK 12-24-12+9S+6,7 Са (60) + Гардоміл 960 ЕС, КЕ (1,6) + Кайзо (0,2) + Амістар Екстра 280 SC (0,5)	2	2	1	1,6
<i>Кукурудза</i>					
1	Контроль	1	1	1	1,0
2	Карбамід (25)	2	2	2	2,0
3	Сульфоніл (0,08)	3	1	1	1,3
4	Кредо, СК (0,35)	1	3	1	1,6
5	Амістар Екстра 280 SC (0,8)	1	1	3	1,6
6	Карбамід (25) + Сульфоніл (0,08) + Кредо, СК (0,35) + Амістар Екстра 280 SC (0,8)	3	2	3	2,6
<i>Соняшник</i>					
1	Контроль	1	1	1	1,0
2	д-во Азотно-Фосф. Калійне NPKS: 6-18-34+1/7-20-30+2 (80)	2	2	1	1,6
3	Агрітокс Турбо (1,0)	3	2	1	2,0
4	Фараон (0,2)	1	2	1	1,3
5	Старк (0,8)	1	1	2	1,3

Закінчення таблиці

№ п/п	Варіант/норма внесення (л/га, кг/га)	За показниками забур'янення	За поширен- ням шкідників	За поширен- ням хвороб	Екологіч- на оцінка
6	д-во азотно-фосф. калійне NPKS: 6-18-34+1 / 7-20-30+2 (80)+ Агрітокс Турбо (1,0)+ Фараон (0,2)+ Старк (0,8)	2	3	2	2,3
<i>Соя</i>					
1	Контроль	1	1	1	1,0
2	Нітроамофоска NPKS 15:15:15+9 (65)	2	2	2	2,0
3	Хармоні (0,008)	2	1	1	1,3
4	Ампліго 150 SC (0,4)+	1	3	1	1,6
5	Старк (0,5)	1	2	1	1,3
6	Нітроамофоска NPKS 15:15:15+9 (65) + Хармоні (0,008) + Ампліго 150 SC (0,4) + Старк (0,5)	2	2	3	2,3
<i>Гречка органічна</i>					
1	Міжряддя штригелем	2	1	2	1,6

* *Примітка:* сформовано авторами на основі власних досліджень.

Посіви сої за фітосанітарними показниками мали I клас, характеризуючись незадовільним станом за поширенням шкідників та збудників хвороб. Відмічено, що останніми роками посіви сої потерпають від шкідника чортополохівки. Цей шкідник раніше був поширеним лише на сегетальній рослинності, а згодом почав пошкоджувати культурні рослини. Сьогодні від нього потерпають посіви сої, соняшника. Розповсюдження саме цього шкідника простежувалося і на виробничих полях господарства. Задовільний стан (2 бали) спостерігали за показниками забур'янення. Ймовірно, це пов'язано з тим, що в посівах сої використовували гербіцид на основі тифенсульфурон-метилу, який має значний вплив на рослини бур'янів, до того ж значно зменшувалася чисельність бур'янів на 50–70% (див. *табл.*)

Таким результатом нормального, задовільного та незадовільного стану посівів за фітосанітарними показниками, крім недотримання технологій вирощування та

недостатнього забезпечення використання засобів захисту рослин, мають вплив ще й погодні-кліматичні умови.

Згідно з літературними даними, відомо, що помірно теплі безсніжні та маломорозні зими сприяють збереженню чисельності шкідників, збудників хвороб та насіння бур'янів у ґрунті. Тоді як спекотні літа зумовлюють активне розмноження шкідників, які за вегетаційний період дають у середньому від 3 до 5 поколінь, аналогічно за нормальних погодних умов — 1–2 покоління. Холодні та вологі весни спричиняють поширення збудників хвороб, переважно на зернових культурах, що значно вплинуло на формування врожаю та його якості. Під час відновлення вегетації озимих навесні спостерігалось значне трапляння озимих зимуючих та ранніх ярих видів бур'янів, що були конкурентами рослинам культури. Перед посівом просяпаних культур проводили низку механічних заходів, спрямованих на знищення сегетальних видів бур'янів, тим самим зменшивши їх кіль-

кість та конкуренцію з культурними рослинами за воду, поживні речовини тощо.

За загального оцінювання фітосанітарного стану по культурах та по варіантах слід відмітити, що в посівах пшениці озимої та ріпаку ярого спостерігається фітосанітарний стан, який відноситься до І (незадовільний) та ІІ (задовільний) класу. Найкращим ІІ (задовільним) класом характеризувалися варіанти застосування комплексу добрив та засобів захисту рослин та використання інсектициду, де екологічна оцінка була для пшениці озимої на рівні 2,3 і 2,0, для ріпаку ярого — 1,6.

У посівах кукурудзи найліпше себе зарекомендували варіанти з комплексом, де вносили добрива, гербіциди, фунгіциди та інсектициди, до того ж загальна екологічна оцінка відповідала показнику 2,6 — ІІІ клас, та із застосуванням добрива з оцінкою 2,0 — ІІ клас.

У посівах соняшника та сої найкращими були варіанти зі внесенням комплексу добрив та засобів захисту 2,3 — ІІ клас та варіант із використанням гербіциду 2,0 бала — ІІ клас.

Отже, для поліпшення фітосанітарного стану посівів необхідно вдосконалювати технології вирощування насамперед забезпечувати належне застосування засобів захисту рослин та враховувати погоднокліматичні умови під час планування проведення агротехнічних заходів або прийомів.

ВИСНОВКИ

Дослідження дали змогу оцінити фітосанітарний стан посівів різних сільськогосподарських культур за комплексом показників в умовах інтенсивного землеробства та зростання антропогенного на-

вантаження. На основі моніторингу посівів проведено екологічну оцінку за фітосанітарним станом, як одним із компонентів оцінки. За використання бальної системи екологічної оцінки агротехнологій виявлено значні відмінності у фітосанітарному стані культур.

Так, посіви пшениці озимої, ріпаку ярого та органічної гречки мали незадовільний (І клас) або задовільний (ІІ клас) екологічний стан. Це зумовлено високим рівнем забур'янення та поширенням хвороб, особливо в посівах органічної гречки, де не застосовували добрива та засоби захисту рослин. Це свідчить про необхідність оптимізації захисних заходів для цих культур.

Кукурудза, соняшник та соя натомість демонстрували ширший діапазон фітосанітарного стану — від незадовільного до нормального (ІІІ клас). Найкращі показники для цих культур були досягнуті за умов комплексного внесення добрив і засобів захисту рослин, що підтверджує важливість інтегрованого підходу в сучасних агротехнологічних системах.

Екологічна оцінка технологій вирощування сільськогосподарських культур вказує, що для досягнення оптимального фітосанітарного стану посівів і підвищення екологічної стійкості агроєкосистем необхідне подальше вдосконалення існуючих, а також розробка та впровадження нових агротехнологій. Контроль шкідливих об'єктів у посівах вимагає постійного моніторингу їх поширення та розвитку. Цей процес має відбуватися шляхом інтеграції превентивних підходів у системи захисту рослин із обов'язковим урахуванням місцевих умов вирощування, біологічної специфіки культур та динаміки популяцій шкідливих видів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Common Agricultural Policy (CAP). (2025). European Commission. Retrieved from https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-glance_en.
2. Макаренко, Н. А., Бондарь, В. І., Макаренко, В. В., Ткач, Є. Д., Дем'янюк, О. С., Ракоїд, О. О., ... МIRONIYUK, П. О. (2008). *Екологічна експертиза технологій вирощування сільськогосподарських культур* (Н. А. Макаренко & В. В. Макаренко, Ред.).
3. Тогачинська, О., & Парашенко, І. (2018). Екологічна оцінка технологій вирощування пшениці озимої в умовах північного Лісостепу. *Вісник Полтавської аграрної академії*, (2), 40–44.
4. Стародуб, В. І., & Ткач, Є. Д. (2023). Комплексна екологічна оцінка технологій вирощування

- соняшнику в Центральному Лісостепу України. *Збалансоване природокористування*, (4), 128–134. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2023.292722>.
5. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (2024). *Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні*. URL: <https://merg.gov.ua>.
6. Трибель, С. О., Сігарьова, Д. Д., Секун, М. П., & Івашенко, О. О. (Ред.). (2001). *Методики випробування і застосування пестицидів*. Світ.
7. Бакай, І. Д., Іваненко, О. В., & Тогагинська, О. В. (2014). Фітосанітарний стан та екологічна оцінка технологій вирощування пшениці озимої в умовах Північного Лісостепу України. *Захист і карантин рослин*, (60), 16–30.
8. Федоренко, А. (2024). Домінантні шкідники зернових колосових культур з ряду твердокрилих та прогноз чисельності у 2024 р. *Карантин і захист рослин*, (1), 23–27. DOI: <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2024.1.23-27>.
9. Чухрай, А. В., & Мостов'як, С. В. (2022). Лускокрилі шкідники сої в умовах Правобережного Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*, (1), 62–68. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk.2022.01.07>.
10. Хаблак, С. (2022). Шкідники ріпаку, схеми захисту від них, збирання врожаю. *Superagronom*. URL: <https://superagronom.com/blog/920-shkidniki-ripaku-shemi-zahistu-vid-nihzbirannya-vroжайu>.
11. Волошук, І. О., Роп, Р. Ю., Глива, В. В., Случак, О. М., Пристацька, О. Н., & Распутенко, А. О. (2017). *Агротехнологічні основи вирощування насіння ріпаку озимого в умовах Західного Лісостепу України: моногр.* СПОЛОМ.
12. Tkalic, Y. I., Kokhan, A. V., Yevtushenko, H. O., & Gonzalez, P. H. (2023). Efficacy of growth regulators for maize fields. *Agrology*, 6(4), 97–103.

Стаття надійшла до редакції журналу 13.07.2025

ASSESSMENT OF THE ALLELOPATHIC AND PHYTOTOXIC EFFECTS OF *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L. RESIDUES ON SEED GERMINATION OF KEY AGRICULTURAL CROPS

T. Morozova¹, O. Mudrak², G. Mudrak³

¹Державна наукова установа «Інститут екологічного відновлення та розвитку України» (м. Київ, Україна)

e-mail: tetiana.morozova@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4836-1035

²КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти» (м. Вінниця, Україна)

e-mail: ov_mudrak@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1776-6120

³Вінницький національний аграрний університет (м. Вінниця, Україна)

e-mail: mudrakgalyna@vsau.vin.ua; ORCID: 0000-0003-1319-9189

Ambrosia artemisiifolia L. — один із найагресивніших інвазійних видів бур'янів, що становить серйозну загрозу біорізноманіттю, стабільності агроєкосистем та здоров'ю населення через високу алергенність пилку. Її потужні алелопатичні властивості зумовлюють пригнічення росту аборигенних видів і культурних рослин, що призводить до зниження врожайності та порушення трофічних зв'язків. Метою дослідження було кількісне оцінювання алелопатичного впливу водних екстрактів різних морфологічних органів рослини (корені, стебла, листки, суцвіття) на енергію проростання (GE) та лабораторну схожість (G) трьох культурних видів: *Triticum aestivum* L., *Phaseolus vulgaris* L. і *Zea mays* L. У лабораторних біотестах використано чотири методи екстракції: 24-годинна мацерація, 1-годинна екстракція, термічна обробка (водяна баня) та екстракція з сухої біомаси у концентраціях 1–10%. Алелопатичну активність виражено в умовних кумаринових одиницях (CCU). Встановлено дозозалежне та органоспецифічне інгібування: найбільш виражений ефект мали 24-годинні екстракти суцвіт'я і коренів. *T. aestivum* L. проявила найвищу чутливість (зниження GE і G до 15% за впливу 5–10% екстрактів), *P. vulgaris* L. займала проміжну позицію щодо чутливості, тоді як *Z. mays* L. демонструвала толерантність ($CCU \leq 4-5$ у більшості варіантів). Статистичний аналіз (ANOVA) підтвердив значущий вплив органа-донора та способу екстракції ($p < 0,05$). Висока фітотоксичність інфлоресценцій і коренів, ймовірно, зумовлена накопиченням сесквітерпєнів, флавоноїдів та поліацетиленів, що підтверджує гіпотезу «нової біохімічної зброї» і свідчать про потенційно важливу роль алелопатії у конкурентних перевагах *A. artemisiifolia* L. Практичне значення полягає у необхідності систематичного фітомоніторингу, врахування алелопатичного ефекту під час планування сівозміни та застосування *T. aestivum* L. як біоіндикатора. Подальші дослідження слід спрямувати на ідентифікацію активних сполук, оцінку їхньої стійкості у ґрунті та вплив на ґрунтову мікробіоту, що дасть можливість інтегрувати отримані дані в екологічно безпечні стратегії контролю інвазій.

Ключові слова: інвазійні види, вторинні метаболіти, умовні кумаринові одиниці, екстракційні методи, стійкість культур, біомоніторинг, біоконтроль бур'янів, сесквітерпєноїди, фітоінгібітори, агроекологічний ризик.

INTRODUCTION

In modern agro-landscapes, uncontrolled spread of invasive plant species represents a serious challenge to crop productivity, agroecosystem resilience, and the conservation of agrobiodiversity. One of the most aggressive alien species in Ukraine and throughout Europe is *Ambrosia artemisiifolia* L. (common ragweed), an annual invasive plant from the

Asteraceae family, native to North America. Its high fecundity, ecological plasticity, and the capacity to synthesize biologically active compounds have facilitated its rapid colonization of croplands, roadsides, abandoned fields, and urbanized habitats [1–4].

Ecological success of *A. artemisiifolia* L. is driven not only by its reproductive strategies but also by allelopathy — a phenomenon involving the release of phytotoxic secondary

metabolites that suppress seed germination, seedling development, and root elongation in surrounding plant species [5; 6]. Among these allelochemicals, sesquiterpenoids and phenolic acids have been identified as major contributors to its phytotoxicity, particularly those derived from root and inflorescence tissues [1; 7–9].

In line with the «Novel Weapons Hypothesis», which posits that invasive species gain competitive advantages by producing biochemical agents unfamiliar to native or cultivated flora [10], *A. artemisiifolia* L. has demonstrated allelopathic effects across a range of crop species. Recent studies have shown that aqueous and organic extracts of this species can inhibit the germination and growth of *Triticum aestivum* L., *Hordeum vulgare* L., *Trifolium repens* L., and *Zea mays* L., with the degree of inhibition varying by concentration, extraction method, and target species [11–13].

For instance, Zeng et al. [14] reported that sesquiterpenoids at 200 µg/mL reduced wheat root growth by over 50%, while aqueous extracts at dilution ratios of 1:4 to 1:8 markedly inhibited barley and clover seed germination [11]. Moreover, [15] observed differential species sensitivity: carrot and basil exhibited pronounced inhibition, while soybean was affected minimally. In some cases, legumes such as alfalfa (*Medicago sativa* L.) even showed neutral or stimulatory responses under low extract concentrations [16]. Such crop-specific effects underscore the importance of selecting appropriate test species in allelopathic bioassays.

Despite these findings, the organ-specific allelopathic effects of *A. artemisiifolia* L., particularly during early developmental stages such as seed germination and laboratory viability, remain underexplored. Moreover, there is a lack of comparative studies addressing how different extraction protocols — including soaking, heat-based extraction, and infusions from dried biomass modulate the phytotoxicity of plant residues. These methodological gaps limit our capacity to predict allelopathic risks across different cropping systems and constrain the development of

integrated weed management strategies based on ecological principles.

The aim of the study is to quantify the allelopathic potential of aqueous extracts obtained from different morphological parts of *Ambrosia artemisiifolia* L. (roots, stems, leaves, and inflorescences) prepared using four distinct extraction methods (24-hour soaking, 1-hour soaking, water bath treatment, and dry biomass infusion). We assessed their phytotoxic effects on germination energy and laboratory viability of *Phaseolus vulgaris* L., *Triticum aestivum* L., and *Zea mays* L. — three economically and ecologically significant crops in temperate agroecosystems.

ANALYSIS OF RECENT RESEARCH

In recent years, the allelopathic potential of *Ambrosia artemisiifolia* L. has attracted increasing scientific attention due to its growing impact on crop productivity and ecological balance. As a widespread invasive species, *A. artemisiifolia* L. demonstrates a pronounced ability to influence both natural and cultivated phytocoenoses chemically, primarily through the release of phytotoxic secondary metabolites.

A number of studies have confirmed the substantial inhibitory effect of this species on seed germination, root elongation, and early seedling development of major crops. For instance, Liu et al. [1] reported that aqueous extracts suppressed the germination and root growth of *Triticum aestivum* L. and *Brassica napus* L. in a dose-dependent manner. Similarly, Zeng et al. [13; 14] demonstrated that extracts from different plant organs, particularly roots and inflorescences, significantly reduced germination energy and root length in wheat, thereby confirming the organ-specific nature of allelopathic activity.

Increasing attention has been devoted to the biochemical mechanisms underlying allelopathy. The primary allelochemicals identified in *A. artemisiifolia* L. are sesquiterpene lactones, including psilostachyins A, B, and C, isolated from aerial organs and known for their pronounced phytotoxicity [17]. A recent phytochemical investigation identified four novel sesquiterpenes from the whole plant,

all exhibiting allelopathic activity [1]. Inflorescences were found to be especially rich in more than twenty sesquiterpenoids, several of which markedly suppressed wheat root and shoot growth [14]. A comprehensive review by Kovács et al. [18] further systematized current knowledge of *Ambrosia* sesquiterpenes, emphasizing their structural diversity, phytotoxicity, and potential pharmacological properties.

Besides sesquiterpenes, representatives of the genus *Ambrosia* contain flavonoids (quercetin, luteolin) and polyacetylenes. Flavonoids are known to affect hormonal regulation and photosynthetic processes, whereas polyacetylenes are recognized for their cytotoxicity. However, the specific roles of these compounds in *A. artemisiifolia* L. allelopathy remain insufficiently understood [15].

The extraction method is a key factor determining allelochemical stability. Sesquiterpene lactones are thermolabile and degrade upon heating, while flavonoids display greater thermal stability. This explains the stronger phytotoxicity of cold (24-hour) aqueous extracts compared to extracts prepared from dried biomass or by heating [1; 18].

Allelopathy interacts with other competitive traits of *A. artemisiifolia* L., including rapid growth, an extensive root system, and high seed productivity. Collectively, these characteristics enhance the invasive potential of the species. At the same time, significant gaps remain in the literature: systematic comparisons of extraction methods and detailed organ-specific analyses of phytotoxicity are still lacking.

Maksimović et al. [11] documented a strong allelopathic effect of *A. artemisiifolia* L. on *Hordeum vulgare* L. and *Trifolium repens* L., even at dilutions of 1:4 and 1:8, indicating that sublethal concentrations can cause notable physiological disturbances in cereals and legumes. Similarly, Bonea et al. [12] and Gunda et al. [15] demonstrated that extracts negatively affect early development of *Zea mays* L., reducing seedling biomass, altering root architecture, and delaying shoot emergence, particularly under stress conditions such as nutrient deficiency or drought.

More detailed biochemical studies confirm high variability in secondary metabolite composition depending on plant organ and extraction method. Ding et al. [8] reported considerable differences in the content of sesquiterpene lactones, phenolic acids, and flavonoids between organs, while Šućur et al. [19] identified distinct «allelochemical fingerprints» in roots and leaves, suggesting targeted allelopathic strategies in different ecological contexts. Additionally, Wang et al. [20] proposed the use of Conditional Coumarin Units (CCU) as a standardized index for quantifying allelopathic stress, thereby improving comparability across studies. An et al. [21] highlighted the critical role of species-specific sensitivity: for example, soybean exhibited relative tolerance, while wheat and carrot showed heightened susceptibility. Similarly, Flores-Duarte et al. [22] reported non-linear responses among legumes, with *Medicago sativa* L. occasionally displaying neutral or even stimulatory effects at low extract concentrations.

Taken together, these findings emphasize the multifactorial nature of *A. artemisiifolia* L. allelopathy, driven by extract concentration, donor organ, recipient species physiology, and methodological approaches. Addressing these methodological inconsistencies is essential for accurate risk assessment of *A. artemisiifolia* L. in agroecosystems and for the development of effective management strategies to mitigate its spread.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCH

In this study, seeds of three agriculturally important crops were used as test species: *Phaseolus vulgaris* L. (common bean), *Triticum aestivum* L. (bread wheat), and *Zea mays* L. (maize). The seeds were pre-calibrated by size and weight to ensure sample uniformity, followed by surface sterilization in a 1% potassium permanganate (KMnO₄) solution for 5 minutes and subsequent triple rinsing with distilled water.

Samples of *Ambrosia artemisiifolia* L. were collected from agricultural fields, where the soil cover is represented by podzolized cher-

nozem. The choice of this site was determined by its typical agroecological conditions, which may influence the qualitative and quantitative composition of plant secondary metabolites. Plant material was collected during the flowering stage (autumn). Leaves, stems, and inflorescences were air-dried at 25–28°C until a constant weight was achieved, and then fragmented into 0.5–1 cm fractions mechanically. Grinding plant biomass into fractions of 0.5–1 cm provides an optimal balance between the surface area available for solvent contact and the preservation of secondary metabolites. Excessive grinding (to a powder) can lead to the degradation of thermolabile or volatile components (including certain sesquiterpenes and phenolic compounds); oxidation due to intensive contact with oxygen; increased sample heterogeneity resulting from uneven particle distribution. Conversely, excessively large fragments (over 1 cm) reduce the efficiency of bioactive compound extraction due to a smaller contact surface area. Thus, the chosen range of 0.5–1 cm represents a methodologically justified compromise, allowing for maximal preservation of the natural composition of allelochemicals while ensuring sufficient extraction.

To evaluate allelopathic activity, we prepared such four types of aqueous extracts as [23] 24-hour cold macerate: 10 g of dried biomass per 100 mL of distilled water, extracted at ambient temperature for 24 hours; 1-hour extract: identical plant-to-solvent ratio, extracted at room temperature for 1 hour; heated extract (water bath): 10 g of plant material in 100 mL of water, heated at 80°C for 30 minutes; dry extract: prepared under standard laboratory drying conditions. All extracts were filtered through Whatman No. 1 paper without further sterilization. Based on the approach of Maksimović et al. [11], such concentrations as 10% (undiluted), 5% (1:2), 2.5% (1:4), and 1% (1:8) were tested. The use of four approaches (cold maceration, short-term infusion, heating in a water bath, and dry extract) enables us to assess the effect of temperature on the stability of secondary metabolites (sesquiterpenes, flavonoids, polyacetylenes), the role of extraction time

in the release of active compounds, the comparison of fresh and dry biomass as a source of allelochemicals and the method-dependent nature of allelopathy, which is particularly important for interpreting the ecological risks of ragweed.

Seed germination was performed in 90 mm diameter Petri dishes, each lined with two layers of Whatman filter paper moistened with 5 mL of the respective extract. For each treatment, 10 seeds were placed in each dish, with four biological replicates per treatment. The experiments were conducted under controlled laboratory conditions: temperature 22±2°C, photoperiod of 16 h light / 8 h dark, and regulated humidity.

To assess organ-specific allelopathic effects, additional treatments using 10% aqueous extracts derived separately from leaves, stems, inflorescences, roots, and rhizospheric soil of *A. artemisiifolia* L. were included.

The following germination parameters were evaluated: germination energy (%) – assessed on day 3 of incubation; laboratory germination (%) – assessed on day 7.

Data were analyzed statistically using Statistica 10 and Microsoft Excel. Treatment effects were compared using the Student's t-test, with statistical significance set at $p < 0.05$. Results are expressed as mean ± standard deviation (SD).

Quantitative assessment of allelopathic impact was conducted using the Conditional Coumarin Unit (CCU) method, adapted from the scale developed by Hrodzynskyi (1979), with further interpretation based on a modified 10-point allelopathic activity scale (Kuzmenko et al.).

Calculation procedure:

- **Step 1:** Determine the percentage of seed germination for each treatment;
- **Step 2:** Convert to CCU using the formula:

$$CCU = 45 - (\text{Germination (\%)} \times 0.365); \quad (1)$$

where 100% germination corresponds to 8.5 CCU; 0% to 45 CCU;

- **Step 3:** Convert CCU to a 10-point scale:
point = $(CCU - 8.65) \setminus 3.65$; (2)

Table 1. Allelopathic activity scale based on Conditional Coumarin Units (CCU)

Score	CCU Range	Allelopathic Activity Description
0	≤ 8.5	No or very weak effect
1	8.6–12.0	Very weak
2	12.1–15.5	Weak
3	15.6–19.0	Moderately weak
4	19.1–22.5	Moderate
5	22.6–26.0	Moderately strong
6	26.1–29.5	Strong
7	29.6–33.0	Very strong
8	33.1–36.5	Extremely strong
9	36.6–40.0	Near-complete inhibition
10	40.1–45.0	Complete inhibition

- **Step 4:** Interpret allelopathic activity:
0–3 points (0–20.5 CCU): Weak allelopathic activity;
4–6 points (20.6–30.5 CCU): Moderate activity;
7–10 points (30.6–45 CCU): Strong allelopathic activity.

RESULTS AND DISCUSSION

Allelopathy represents a multifaceted ecological mechanism in which plants release bioactive secondary metabolites (allelochemicals) into their environment, influencing the growth and development of neighboring species. These substances enter the soil via leaf and stem litter, rain-induced leaching, fruit decomposition, and root exudation [24; 25]. Their vertical distribution in the soil varies: surface residues primarily affect the upper horizons, while root-derived compounds penetrate deeper, exerting direct influence on seed germination and early seedling development. Although the ecological role of allelopathy is well recognized in natural ecosystems, its dynamics in agricultural settings remain insufficiently characterized.

The present study confirms the high allelopathic potential of *Ambrosia artemisiifolia* L., particularly evident in aqueous extracts derived from root biomass. A 10% con-

centration of freshly prepared root extract significantly reduced germination energy in *Triticum aestivum* L. and *Phaseolus vulgaris* L., approaching near-zero values. Total germination capacity decreased by 40–60%, depending on the concentration and preparation method. The most pronounced inhibitory effects were observed in extracts prepared using a water bath, where both germination and seedling growth (root and shoot length) were reduced by more than 50% compared to control treatments. These findings corroborate prior studies demonstrating similar phytotoxic effects of *A. artemisiifolia* L. sesquiterpenoids on wheat roots [14; 26].

Among the various extraction types, 24-hour aqueous macerates exhibited the highest phytotoxicity. For *P. vulgaris* L., exposure to a 10% extract resulted in a drastic decline in germination energy (to 15%) and total germination (to 25%). In *T. aestivum* L., suppression was observed even at 5%, while at 10%, germination was nearly inhibited entirely (approximately 5%). By contrast, *Zea mays* L. demonstrated relative tolerance under identical conditions, with germination energy and viability decreasing only to 55% and 65%, respectively.

Short-duration extracts (1-hour maceration) exhibited milder allelopathic effects, yet remained potent for sensitive species. Even at 1% concentration, *T. aestivum* L. exhibited a >60% reduction in germination energy, suggesting pronounced sensitivity. *P. vulgaris* L. displayed moderate sensitivity, with germination energy decreasing by 35% only at the highest concentration tested. *Z. mays* L. again emerged as the most resilient species, exhibiting only gradual reductions in seedling development, consistent with its known resistance to allelochemical interference [11].

Water bath-prepared extracts showed a modified toxicity profile. In *P. vulgaris* L. and *Z. mays* L., the inhibitory effects were moderate. However, *T. aestivum* L. displayed strong suppression even at 5–10% concentrations, possibly due to the release of thermally stable phenolic acids and sesquiterpenes during heating [1; 27]. These compounds likely retain bioactivity despite thermal exposure and may

even become more extractable under such conditions.

The least pronounced allelopathic effects were associated with extracts prepared from dried plant biomass. In most treatments, germination energy and capacity remained within 70–85%, even at the highest concentrations. This suggests partial degradation or volatilization of key allelochemicals during drying or storage, consistent with earlier reports on the instability of certain phytotoxins [8; 12].

Species-specific sensitivity to allelopathic compounds was observed clearly. *T. aestivum* L. consistently exhibited the highest susceptibility, with marked reductions in germination and early growth metrics across all extract types and concentrations. *P. vulgaris* L. showed moderate tolerance, maintaining germination viability at concentrations up to 2.5%. *Z. mays* L., due to its robust morphophysiological characteristics such as thicker seed coats and higher antioxidant capacity proved the least affected [28].

A well-defined dose–response relationship was established. Maximum inhibition (0–5% germination energy) occurred in *T. aestivum* L. under the influence of 10% 24-hour extracts, whereas the minimum inhibitory effect (65–80%) was observed in *Z. mays* L. treated with extracts from dried material. The observed phytotoxicity may stem from the inhibition of key hydrolytic enzymes responsible for mobilizing seed storage reserves during germination [13; 24].

The results of one-way ANOVA confirmed statistically significant variation in the inhibitory effects of different extract types across crop species. *P. vulgaris* L. showed moderate but significant sensitivity ($F=3.30$; $p=0.048$), while *T. aestivum* L. demonstrated highly significant treatment effects ($F=11.10$; $p=0.00035$). In contrast, *Z. mays* L. showed no statistically significant response across extract types ($F=1.96$; $p=0.161$), reinforcing its role as a relatively allelophytotolerant species.

As visualized in the scatter plot (Fig. 1), *T. aestivum* experienced the most severe decline in germination energy across treatments, whereas *Z. mays* L. remained closest to control values. These findings suggest the potential of using *T. aestivum* L. as a sensitive bioindicator species in allelopathic risk assessments of in-

vasive alien plants such as *A. artemisiifolia* L. This aligns with the «novel weapons hypothesis», which posits that non-native species exert chemical interference via allelochemicals novel to the invaded flora, disrupting crop establishment and community dynamics [5].

The obtained results align with earlier research demonstrating the broad-spectrum phytotoxicity of both aqueous and organic extracts of *Ambrosia artemisiifolia* L. against a wide range of cultivated species, including soybean, barley, bean, and maize [12; 28]. These data further corroborate the hypothesis of a universal allelopathic potential inherent to *A. artemisiifolia* L. and underscore its role as a significant biotic threat to agrobiodiversity and crop productivity.

To assess the degree of differential sensitivity among the studied crops, a *k*-means cluster analysis was conducted using two physiological indicators germination energy (GE) and laboratory germination (G) across treatments involving various aqueous root exudate extracts. The analysis identified three distinct clusters based on the intensity of allelopathic inhibition (Fig. 2).

Cluster I grouped variants with minimal phytotoxic impact, predominantly associated with *Zea mays* L., indicating high resilience to the tested extracts. Cluster II included treatments with moderate inhibitory effects, corresponding primarily to *Phaseolus vulgaris* L., which exhibited intermediate sensitivity. Cluster III comprised the most severely affected variants, all linked to *Triticum aestivum* L., reaffirming its status as the most allelosensitive species among the three.

This pattern effectively reflects the species-specific sensitivity gradient and supports the hypothesis that allelopathic inhibition by *A. artemisiifolia* L. root exudates can be quantified using integrative phytotoxicity indices such as Conditional Coumarin Units (CUO), which provide a standardized approach to evaluating allelopathic intensity across treatments.

Furthermore, while the present study focused on root-derived compounds, it is important to note that in natural environments, allelochemicals are also introduced into agroecosystems through the aerial biomass of in-

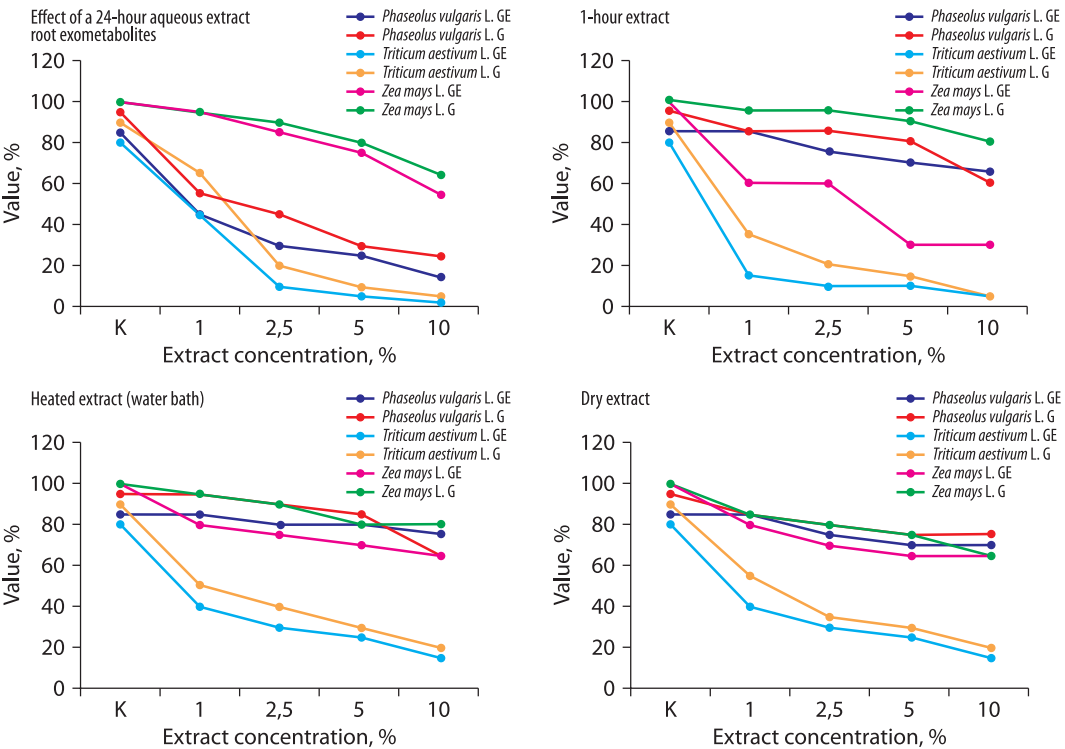


Fig. 1. Effect of 24-hour aqueous extracts from roots of *Ambrosia artemisiifolia* L. on seed germination energy (En) and laboratory viability (Cx) of *Phaseolus vulgaris* L., *Triticum aestivum* L., *Zea mays* L.

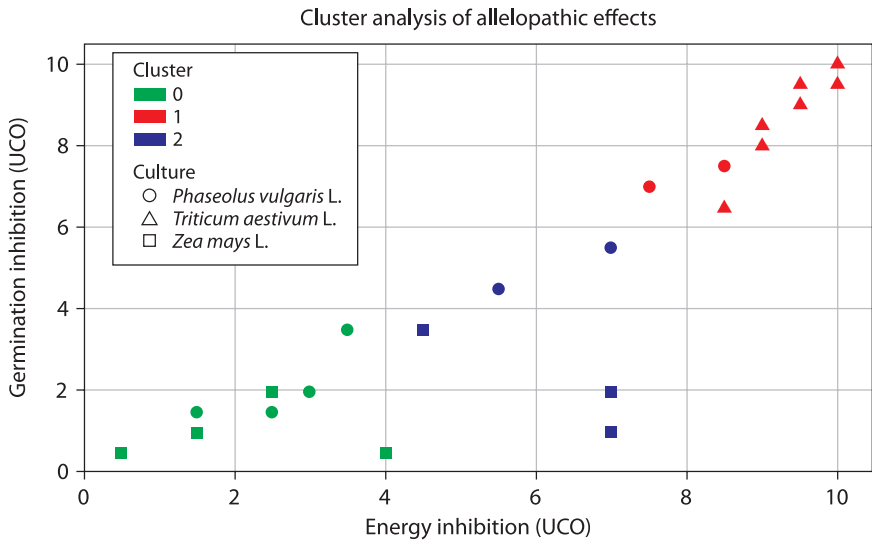


Fig. 2. Clustering of allelopathic effects based on inhibition intensity (CUO – Conditional Coumarin Units)

vasive plants. Decomposing foliage, pollen, and floral remnants contribute significantly to the soil's chemical milieu. Existing literature highlights that aerial parts of *A. artemisiifolia* L. particularly leaves, stems, and inflorescences are rich in a variety of allelopathic compounds, including phenolic acids, sesquiterpenes, flavonoids, and coumarins [1; 7; 8]. These metabolites, many of which possess high thermal and chemical stability, may act synergistically to disrupt germination and early growth processes in competing species.

To this end, the next phase of our investigation will focus on the comparative allelopathic activity of aqueous extracts obtained from different morphological structures of *A. artemisiifolia* L., specifically analyzing leaves, stems, and inflorescences. By dissecting the phytotoxic potential of each plant organ,

we aim to determine which biomass sources contribute most significantly to the inhibitory effect, to distinguish the relative roles of vegetative versus generative organs in allelopathic interference, to characterize the composition and concentration of organ-specific allelochemicals, to formulate targeted management strategies to mitigate the invasive impact of *A. artemisiifolia* L. in agricultural systems and to enhance the use of phytotoxicity-based bioindicators for real-time assessment of invasion pressure in agroecosystems.

Preliminary Evaluation of Stem Extract Effects. Preliminary data from ongoing experiments on aqueous stem extracts of *A. artemisiifolia* L. indicate a pronounced inhibitory influence on seed germination in all three crop species: *P. vulgaris* L., *T. aestivum* L., and *Z. mays* L. (Fig. 3–5). The inhibition fol-

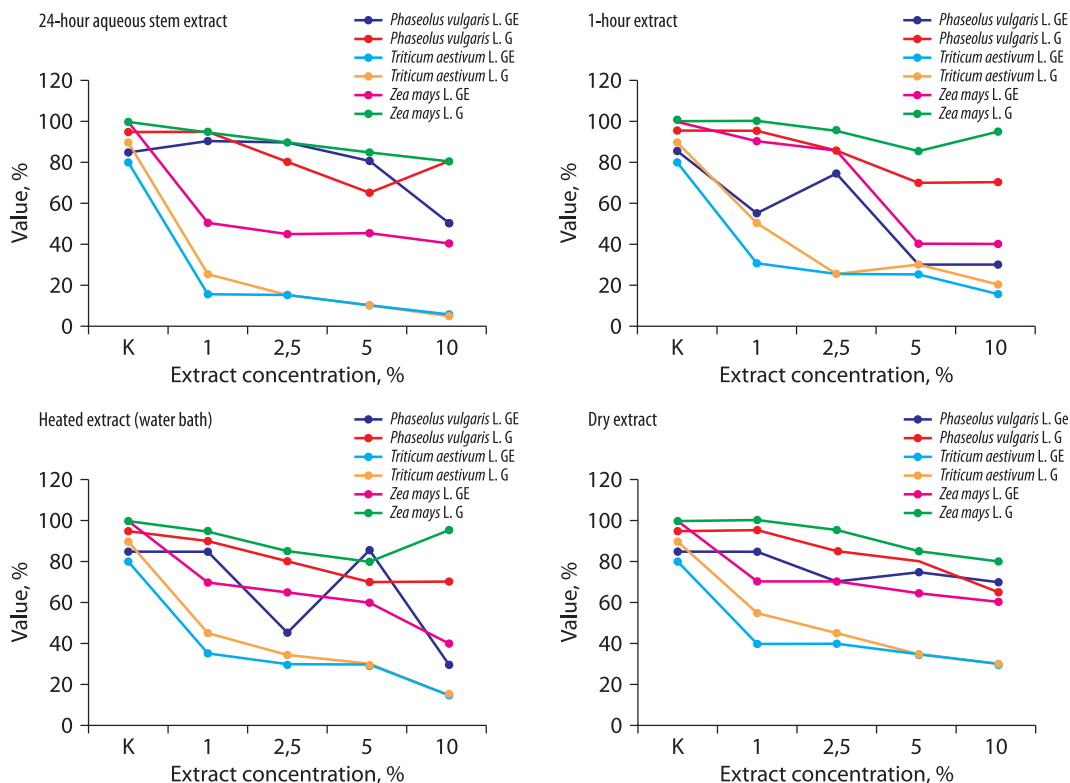


Fig. 3. Effect of aqueous extracts from stems of *Ambrosia artemisiifolia* L. on seed germination energy (En) and laboratory viability (Cx) of *Phaseolus vulgaris* L., *Triticum aestivum* L., *Zea mays* L.

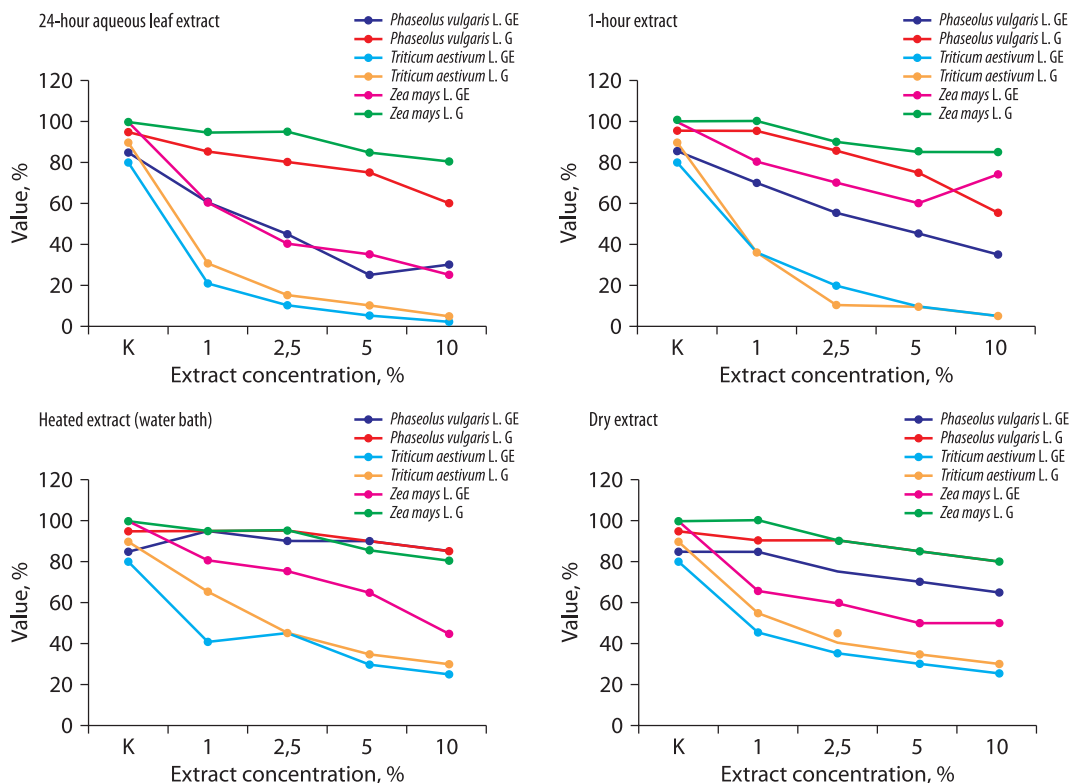


Fig. 4. Effect of aqueous extracts from leaves of *A. artemisiifolia* L. on seed germination energy (En) and laboratory viability (Cx) of *P. vulgaris* L., *T. aestivum* L., *Z. mays* L.

lowed a clear dose-dependent trend across all species. Notably, germination energy and laboratory germination declined progressively with increasing extract concentrations, though the extent of suppression varied among crops.

Interspecific variability was again evident: *T. aestivum* L. exhibited the highest sensitivity to stem-derived allelochemicals, confirming earlier observations with root extracts. *P. vulgaris* L. showed moderate inhibition, while *Z. mays* L. remained the least affected, albeit still showing significant reductions at higher concentrations.

These findings support the hypothesis that allelopathic compounds are distributed throughout the entire plant body of *A. artemisiifolia* L., not solely concentrated in root tissues, and that their phytotoxic potential is consistently expressed across organs.

Allelopathic Effects of Leaf and Inflorescence Extracts of *A. artemisiifolia* L.

The aqueous extracts derived from the leaves and inflorescences of *Ambrosia artemisiifolia* L. exhibited a pronounced inhibitory effect on seed germination and germination energy across all tested crops, further confirming the broad allelopathic potential of this species. As in previous experiments with root and stem extracts, the phytotoxic effects were both dose-dependent and species-specific, with distinct differences observed between the types of plant organs and extraction methods.

Triticum aestivum L. once again demonstrated the highest sensitivity. Exposure to 24-hour aqueous extracts from both leaves and inflorescences at concentrations of 10% resulted in near-complete inhibition of germination energy (reduced to 5–10%) and a dramatic drop in total germination (to 10–

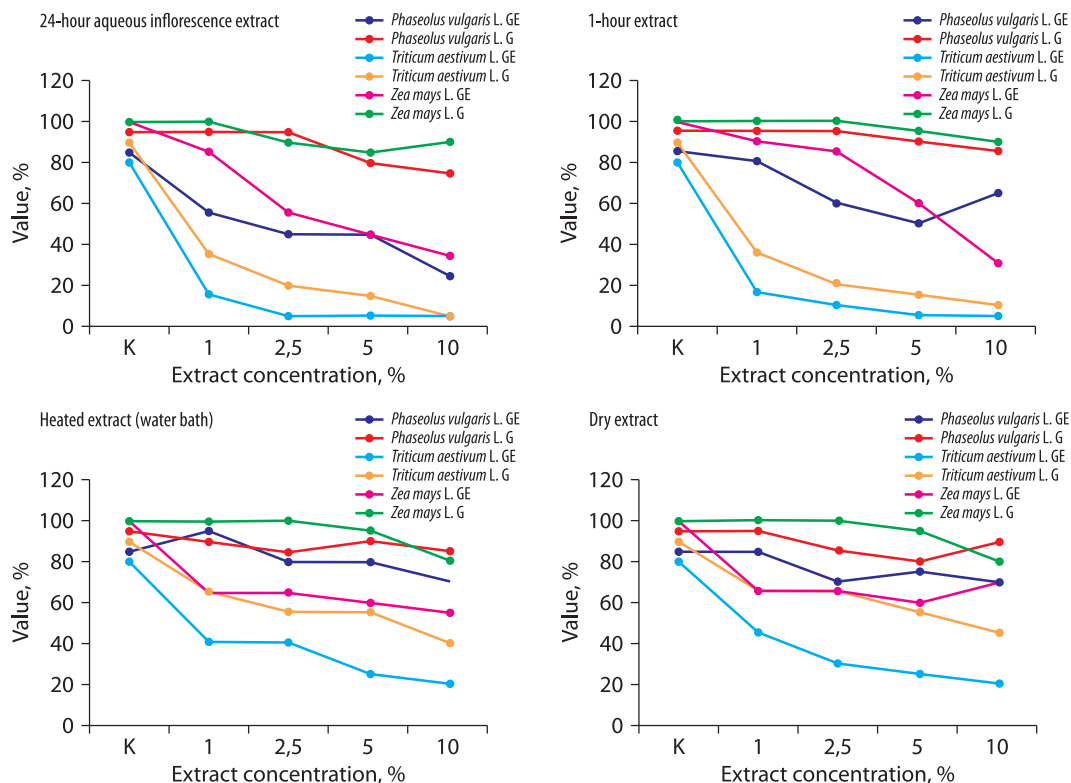


Fig. 5. Effect of aqueous extracts from inflorescences of *Ambrosia artemisiifolia* L. on seed germination energy (En) and laboratory viability (Cx) of *Phaseolus vulgaris* L., *Triticum aestivum* L., *Zea mays* L.

20%). One-hour extracts also caused significant suppression, suggesting a high concentration of fast-releasing allelochemicals in aerial biomass.

Phaseolus vulgaris L. exhibited an intermediate level of sensitivity. Germination energy was reduced to 40–50%, while total germination dropped to 60–70% under the influence of 10% inflorescence extracts. Interestingly, leaf-derived extracts were slightly more phytotoxic than those from inflorescences, possibly due to a higher concentration of phenolic compounds, such as chlorogenic and caffeic acids, typically found in photosynthetically active tissues [1].

Zea mays L., consistent with prior observations, showed the highest tolerance. Even under exposure to 10% 24-hour inflorescence extracts, its germination remained above 75%,

and germination energy did not fall below 60%. This further supports the hypothesis of maize's inherent resilience to the chemical stress imposed by ambrosia allelochemicals.

Across all species, extracts from dried biomass showed the weakest allelopathic effects, consistent with previous reports [7; 28], possibly due to the degradation of thermolabile compounds during drying and storage. In contrast, short-duration aqueous extracts from fresh biomass frequently retained higher phytotoxicity, suggesting that volatile or highly reactive secondary metabolites may be crucial contributors to the observed inhibition.

The significantly stronger allelopathic impact of inflorescence-derived extracts, particularly on wheat and beans, aligns with findings by Sun and Roderick [27], who identified

eudesmane-type sesquiterpenes as dominant in reproductive structures of *A. artemisiifolia* L. These compounds are believed to interfere with hormonal regulation and cell division during early germination stages [21].

From a practical standpoint, these results reinforce the notion that aerial biomass, especially during flowering, represents a critical source of allelochemical pollution in agroecosystems. The deposition of inflorescences and leaf litter into the soil via natural senescence or mechanical incorporation (e.g., mowing or ploughing) can introduce a potent mix of phytotoxic substances that negatively affect sensitive crops.

The results of the analysis of variance (ANOVA) confirmed a statistically significant effect of the extraction method of *Ambrosia artemisiifolia* L. inflorescences on seed germination of *Phaseolus vulgaris* L. ($F=4.05$; $p=0.026$) and laboratory germination of *Triticum aestivum* L. ($F=4.61$; $p=0.017$), indicating a considerable dependence of the allelopathic effect on the type of extraction used. In contrast, for *Zea mays* L., the extraction method showed no significant influence ($p>0.86$),

which confirms this crop's relative tolerance to phytotoxic components released from ragweed inflorescences.

The inhibitory matrix, quantified using Conditional Coumarin Units (CCUs), demonstrated the strongest allelopathic activity in 24-hour extracts, particularly for *T. aestivum* L. and *P. vulgaris* L., where CCU values reached up to 45 points. This corresponds to the highest phytotoxicity level on the proposed inhibition scale. Extracts obtained via water bath treatment or from dried biomass exhibited moderate to weak effects, especially in the case of *Z. mays* L., whose CCU values consistently remained below 4.

The biological assessment further confirmed the strong phytotoxic potential of aqueous inflorescence extracts of *A. artemisiifolia* L., with clear differentiation in impact based on crop species, extract concentration, and extraction method. The most severe inhibition of germination energy was observed in *T. aestivum* L. under 24-hour extract — exposure, with energy values dropping to 5% or complete suppression, and laboratory germination reduced to 5–15% (Fig. 6). In *P. vul-*

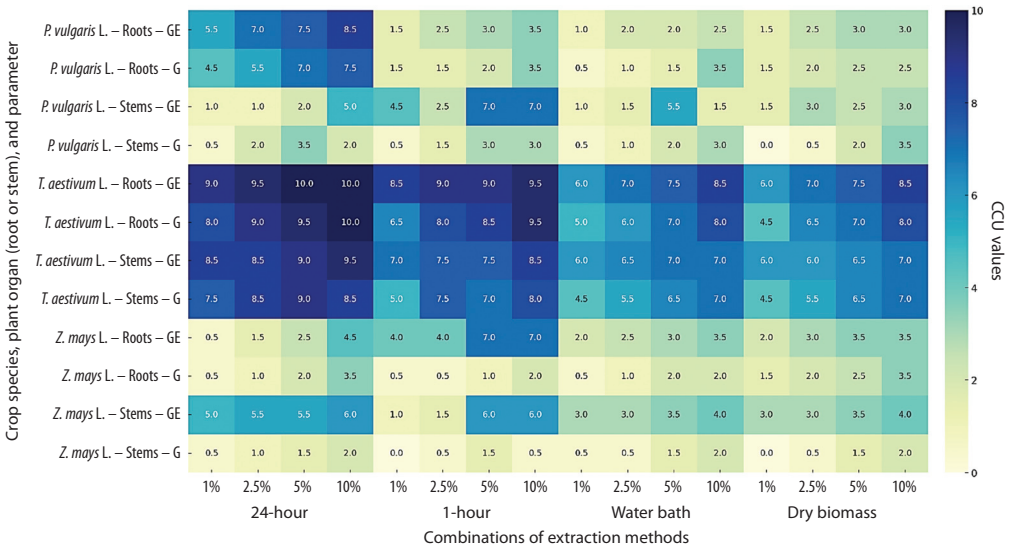


Fig. 6. Inhibitory strength matrix (in conditional coumarin units, CCU)

Notes: The X-axis represents combinations of extraction methods (24-h, 1-h, water bath, dry biomass) and extract concentrations (1%, 2.5%, 5%, 10%). The Y-axis indicates crop species, plant organ (root or stem), and parameter (GE — germination energy, G — germinability). Color intensity represents the mean CCU values: darker shades indicate stronger inhibitory effects.

garis L., a concentration-dependent decline in germination energy to 35–55% was noted, particularly under 24-hour and 1-hour treatments. In contrast, *Z. mays* L. again showed the lowest sensitivity, maintaining germination energy between 60–90% and total germination rates above 80%, even under higher extract concentrations.

The allelopathic index expressed in CCUs reached maximum values in 24-hour extracts: 9.5–10 for *T. aestivum* L., 7.5–8.5 for *P. vulgaris* L., and not more than 4 for *Z. mays* L. Although similar trends were observed for water bath and dried biomass extracts, the inhibition levels were significantly lower, likely due to degradation or transformation of active metabolites during thermal processing or drying.

These results reinforce the hypothesis about the high allelopathic potential of generative organs of *A. artemisiifolia* L., which are known to accumulate sesquiterpenoids, flavonoids, coumarins, and polyacetylenes [7; 21]. The accumulation of such secondary metabolites in flowers and inflorescences supports their role as potent inhibitors of plant development and germination.

The findings are consistent with those of Bonea et al. [12], who reported significant inhibition of *Lactuca sativa* L. and *Z. mays* L. germination under the influence of floral extracts of *A. artemisiifolia* L. In both studies, the inhibitory effect increased with concentration, and sensitivity varied by crop, with cereal species generally more vulnerable.

Further ANOVA results revealed that extract type had a statistically significant effect on germination energy across all species ($p < 0.05$), but influenced laboratory germination only in *T. aestivum* L. suggesting that allelochemicals from inflorescences may primarily target early seed physiological processes such as membrane integrity, water uptake, and hormonal signaling, which are crucial during the initial phases of germination [6].

Overall, the study highlights that inflorescences of *A. artemisiifolia* L. serve as a potent source of allelopathic compounds capable of significantly suppressing seed energy and germination in sensitive crop species. This

supports the «novel weapon hypothesis» [26], which posits that invasive species can out-compete natives through unique allelochemicals to which local flora has not developed resistance mechanisms.

These findings have significant practical implications for the management of *A. artemisiifolia* L. invasions in agricultural systems. The high phytotoxicity of its generative organs, particularly during flowering and seed set stages, poses a potential threat to crop establishment and early development, especially for cereals and legumes. This warrants further attention in terms of monitoring, suppression strategies, and crop rotation planning, especially in regions under high invasion pressure.

Visualization of the data via CCU-based heatmaps confirmed that 24-hour and water bath extracts were the most phytotoxic, particularly to *T. aestivum* L. and *P. vulgaris* L., while 1-hour extracts were less toxic, especially for *Z. mays* L., once again reinforcing interspecies differences in tolerance and vulnerability.

Discussion (continued): Organ-Specific Allelopathic Effects of *Ambrosia artemisiifolia* L. The extended bioassay data, visualized in a CCU-based heatmap, further illustrate the organ-specific allelopathic potential of *A. artemisiifolia* L. In this analysis, the mean inhibitory strength of aqueous extracts prepared from roots and stems was evaluated across four extraction methods (24-hour, 1-hour, water bath, and dry biomass) and four concentrations (1%, 2.5%, 5%, 10%).

Among all tested crops, *Triticum aestivum* L. again exhibited the highest sensitivity, with 24-hour root extracts causing maximal inhibition of both germination energy and viability (up to 10.0 CCU), especially at 5–10% concentrations. Stem extracts, although slightly less potent, still induced significant suppression (up to 9.5 CCU).

Phaseolus vulgaris L. demonstrated moderate sensitivity to root-derived allelochemicals: germination energy was inhibited up to 8.5 CCU under 24-hour extracts at 10% concentration, while 1-hour and dry biomass extracts had only mild effects.

Zea mays L. remained the most tolerant species, with CCU values rarely exceeding 4–5, even under high-concentration root extracts. One-hour and water bath extracts from both roots and stems showed virtually no inhibitory impact on maize germination.

Across all species, root extracts were the most phytotoxic, particularly when produced via 24-hour soaking, followed by stem extracts. Water bath and dry biomass methods yielded substantially lower allelopathic activity, likely due to thermal degradation or reduced extractable compound content.

This organ-specific phytotoxicity was further evident when comparing the effects of extracts from inflorescences and leaves. The heatmap clearly showed that 24-hour inflorescence and leaf extracts caused severe germination suppression in *T. aestivum* L. and *P. vulgaris* L., with CCU values reaching up to 90 — markedly higher than those from roots or stems. This confirms that generative and foliar organs of *A. artemisiifolia* L. contain the highest concentrations of allelochemicals, likely including sesquiterpenes, flavonoids, polyacetylenes, and coumarins [7; 19], which are well-documented for their growth-inhibitory properties.

A comprehensive comparison of morphological parts (roots, stems, leaves, inflorescences) revealed the following hierarchy of phytotoxicity: inflorescences — strongest inhibition, especially in wheat and bean, with complete germination suppression at 5–10% extract concentrations, roots — high toxicity, particularly in *T. aestivum* L., moderate in *P. vulgaris* L., minimal in *Z. mays* L., stems — moderate dose-dependent effects, primarily on wheat, weaker than roots or inflorescences, leaves — lowest phytotoxicity, however, 24-hour high-concentration extracts still caused moderate inhibition in wheat and beans.

All extraction methods showed dose-dependent inhibition, but 24-hour aqueous extraction was consistently the most efficient in releasing water-soluble allelochemicals.

In terms of crop sensitivity, the pattern remained consistent: *T. aestivum* L. — most sensitive; affected by all organ extracts, especially inflorescences and roots; *P. vulga-*

ris L. — moderately sensitive; strongest inhibition from inflorescence and root extracts at higher concentrations; *Z. mays* L. — most tolerant; minimal suppression across all treatments.

These findings strongly support the «novel biochemical weapons» hypothesis [26], which posits that invasive plants may release allelochemicals unfamiliar to native or cultivated species, thereby suppressing their establishment and growth.

From a phytomonitoring and agroecological risk assessment perspective, this organ- and crop-specific variability in allelopathic activity underlines the importance of targeting inflorescences and roots in control strategies. Moreover, the use of *T. aestivum* L. as a bioindicator species in allelopathy assays appears highly justified, given its high sensitivity and consistent response across treatments.

CONCLUSIONS

This study provides clear evidence of the strong allelopathic potential of *Ambrosia artemisiifolia* L., particularly its inflorescences and roots, which were shown to contain the highest concentrations of phytotoxic compounds. Through a series of bioassays on three economically important crop species (*Triticum aestivum* L., *Phaseolus vulgaris* L., and *Zea mays* L.) we demonstrated a dose-dependent and organ-specific inhibition of seed germination and early seedling development.

Among the tested crops, *T. aestivum* L. was the most sensitive to aqueous extracts, exhibiting near-complete suppression of germination under 24-hour extracts from inflorescences and roots. *P. vulgaris* L. showed intermediate sensitivity, while *Z. mays* L. was the most tolerant across all extraction types and concentrations. The highest allelopathic activity was consistently associated with 24-hour aqueous extracts, confirming their efficiency in releasing bioactive allelochemicals.

These findings substantiate the «novel weapon hypothesis», suggesting that the success of *A. artemisiifolia* L. as an invasive species may be partially attributed to its capacity to interfere chemically with the germination

and establishment of neighboring plants, especially non-adapted crops.

From a practical standpoint, this research highlights the potential agroecological risks associated with the spread of *A. artemisiifolia* L. in cultivated landscapes. The observed phytotoxicity against cereals and legumes underscores the need for monitoring and managing invasive populations, particularly before seed dispersal when inflorescence biomass is highest.

Moreover, the demonstrated crop-specific responses point to the usefulness of bioindicator species such as *T. aestivum* L. for assessing allelopathic stress in agroecosystems. Further investigations should focus on the identification of specific allelochemicals, their persistence in soil, and interactions with native soil microbiota to fully understand the ecological impact of *A. artemisiifolia* L. and explore its possible applications in sustainable weed control strategies.

REFERENCES

- Liu, Z., Zhang, N., Ma, X., Zhang, T., Li, X., Tian, G., ... An, T. (2022). Sesquiterpenes from *Ambrosia artemisiifolia* and their allelopathy. *Front. Plant Sci.*, 13, 996498. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.996498>.
- Sun, Y., & Roderick, G. K. (2019). Rapid evolution of invasive traits facilitates the invasion of common ragweed, *Ambrosia artemisiifolia*. *J. Ecol.* 107, 2673–2687. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13198>.
- Vidotto, F., Tesio, F., & Ferrero, A. (2013). Allelopathic effects of *Ambrosia artemisiifolia* L. in the invasive process. *Crop Protection*, 54, 161–167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.08.009>.
- Bonnamour, A., Gippet, J. M. W., Bertelsmeier, C., & Gurevitch, J. (2021). Insect and plant invasions follow two waves of globalisation. *Ecol. Lett.*, 24, 2418–2426. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.13863>.
- Callaway, R. M., & Ridenour, W. M. (2004). Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Front. Ecol. Environ.*, 2, 436–443. DOI: [https://doi.org/10.1890/1540-9295-\(2004\)002\[0436:nwisat\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295-(2004)002[0436:nwisat]2.0.co;2).
- Bais, H. P. (2003). Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions. *Science*, 301, 1377–1380. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1083245>.
- Tagliatela-Scafati, O., Pollastro, F., Minassi, A., Chianese, G., Petrocellis, L. D., & Marzo, V. D. (2012). Sesquiterpenoids from common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.), an invasive biological pollutant. *Eur. J. Org. Chem.*, 5162–5170. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejoc.201200650>.
- Ding, W. B., Huang, R., Zhou, Z. S., & Li, Y. Z. (2015). New sesquiterpenoids from *Ambrosia artemisiifolia* L. *Molecules*, 20, 4450–4459. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules20034450>.
- Su, P., Liu, X., & Wang, R. (2022). Autotoxicity of *Ambrosia artemisiifolia* and *Ambrosia trifida* and its significance for the regulation of intraspecific populations density. *Sci Rep*, 12, 17424. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21344-8>.
- Thorpe, A. S., Thelen, G. C., Diaconu, A., & Callaway, R. M. (2009). Root exudate is allelopathic in invaded community but not in native community: field evidence for the novel weapons hypothesis. *J. Ecol.* 97, 641–645. DOI: <https://doi.org/10.1111/J.1365-2745.2009.01520.X>.
- Maksimović, T., M. Cvijetinović, & Hasanagić, D. (2023). Allelopathic effect of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) on seed germination and early seedling growth of barley (*Hordeum vulgare* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.). *Агрознање/Agroknowledge journal*, 24(3), 105–115. DOI: <https://doi.org/10.7251/AGREN2303105M>.
- Bonea, D., Bonciu, E., Niculescu, M., & Olaru, A. L. (2018). The allelopathic, cytotoxic and genotoxic effect of *Ambrosia artemisiifolia* on the germination and root meristems of *Zea mays* L. *Caryologia*, 71, 24–28. DOI: <https://doi.org/10.1080/00087114.2017.1400263>.
- Zeng, H., Zhao, J., & Zhou, Q. (2022). Allelopathic effects of *Ambrosia artemisiifolia* on *Triticum aestivum*: Germination inhibition and root damage. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(22), 33345–33354. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17865-7>.
- Zeng, Z., Huang, H., He, H., Qiu, L., Gao, Q., Li, Y., & Ding, W. (2022). Sesquiterpenoids from the Inflorescence of *Ambrosia artemisiifolia*. *Molecules*, 27(18), 5915. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27185915>.
- Gunda, S. K., Duvvuri, V. A., & Cheriya, R. (2025). A comprehensive review of secondary metabolites of the plant genus *Ambrosia*. *Phytochem Rev.* DOI: <https://doi.org/10.1007/s11101-025-10161-2>.
- Fahmy, G. M., Moussa, S. A. I., & Abd EL-Rehem, R. A. S. (2024). Allelopathic potentiality of *Trianthema portulacastrum* L. shoot extract and mulch on germination and growth of two summer weeds. *Plant Ecol.*, 225, 819–837. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11258-024-01421-w>.
- Schulz, M., & Tabaglio, V. (2024). Allelopathy: Mechanisms and applications in regenerative agriculture. *Plants*, 13(23), 3301. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13233301>.
- Kovács, B., Hohmann, J., Csopor-Löffler, B., Kiss, T., & Csopor, D. (2022). A comprehensive phytochemical and pharmacological review on sesquiterpenes from the genus *Ambrosia*. *Heliyon*, 8(7), e09884. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09884>.
- Sućur, J., Konstantinović, B., Crnković, M., Bursić, V.,

- Samardžić, N., Malenčić, Đ., ... Vuković, G. (2021). Chemical composition of *Ambrosia trifida* L. and its allelopathic influence on crops. *Plants*, 10, 2222. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10102222>.
20. Wang, L., Chen, Y., & Zhao, Q. (2022). Standardizing bioassays for allelopathic potential assessment: Conditional coumarin units and beyond. *Journal of Chemical Ecology*, 48(1), 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10886-021-01317-3>.
 21. An, J. P., Ha, T. K. Q., Kim, H. W., Ryu, B., Kim, J., & Park, J. (2019). Eudesmane glycosides from *Ambrosia artemisiifolia* (common ragweed) as potential neuroprotective agents. *J. Nat. Prod.*, 82, 1128–1138. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.8b00841>.
 22. Flores-Duarte, N. J., Pérez-Pérez, J., Navarro-Torre, S., Mateos-Naranjo, E., Redondo-Gómez, S., Pajuelo, E., & Rodríguez-Llorente, I. D. (2022). Improved Medicago sativa Nodulation under Stress Assisted by *Variovorax* sp. Endophytes. *Plants*, 11(8), 1091. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11081091>.
 23. Заїменко, Н. В. (Ed.). (2021). *Сучасні методи в алелопатичних дослідженнях. Методичний посібник*. Київ.
 24. Bais, H. P., Vepachedu, R., Gilroy, S., Callaway, R. M., & Vivanco, J. M. (2003). Allelopathy and exotic plant invasion: From molecules and genes to species interactions. *Science*, 301(5638), 1377–1380. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1083245>.
 25. Thorpe, A. S., Thelen, G. C., Diaconu, A., & Callaway, R. M. (2009). Root exudate is allelopathic in invaded community but not in native community: Field evidence for the novel weapons hypothesis. *Journal of Ecology*, 97, 641–645.
 26. Неїлик, М. М., & Цицюра, Я. Г. (2020). *Амброзія полинолиста (Ambrosia artemisiifolia L.): систематика, біологія, адаптивний потенціал та стратегія контролю: моногр.* Вінниця.
 27. Sun, Y., & Roderick, G. K. (2019). Rapid evolution of invasive traits facilitates the invasion of common ragweed, *Ambrosia artemisiifolia*. *J. Ecol.*, 107, 2673–2687. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13198>.
 28. Vidotto, F., Tesio, F., & Ferrero, A. (2013). Allelopathic effects of *Ambrosia artemisiifolia* L. in the invasive process. *Crop Prot.*, 54, 161–167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.08.009>.

Стаття надійшла до редакції журналу 11.07.2025

ІНТЕНСИВНІСТЬ СПОРУЛЯЦІЇ ФІТОПАТОГЕННИХ МІКРОМІЦЕТІВ НА НАСІННІ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ЯК ІНДИКАТОР ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ В АГРОЦЕНОЗАХ

А.М. Ліщук, А.І. Парфенюк, Н.В. Карачинська

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

e-mail: lishchuk.alla.n@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8339-9365

e-mail: vereskpar@ukr.net; ORCID: 0000-0003-0169-4262

e-mail: karachinskan051177@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6571-8430

Проаналізовано вплив біологічного забруднення, спричиненого інтенсивністю споруючої фітопатогенних мікроміцетів на насінні зернових культур ячменю ярого і вівса, на формування екологічних ризиків в агроценозах. Метою цього дослідження є оцінка рівня екологічного ризику в агроценозах зернових культур та обґрунтування підходів до їх мінімізації. Виявлено, що сортові особливості культур відіграють ключову роль не лише у формуванні фітопатогенного мікобіому насіння, а й потенційного екологічного ризику. За результатами досліджень визначено чітку лінійну статистичну залежність між інтенсивністю споруючої фітопатогенних мікроміцетів (виміряною в млн шт./мл конідій) та рівнем екологічного ризику (оціненим у балах) для обох досліджуваних культур. Це дає можливість використовувати показник інтенсивності споруючої як надійний кількісний індикатор екологічної безпеки агроценозів. Встановлено, що сорти ячменю ярого (Салют і Богун) та вівса (Світанок, Парламентський і Тембр) характеризуються значним або високим рівнем екологічного ризику через інтенсивну споруючість. Ідентифіковано наявність небезпечних видів *Fusarium* (зокрема *F. culmorum*, *F. sporotrichioides*, *F. gramineum*), здатних продукувати мікотоксини, що підкреслює потенційну загрозу формування екологічних ризиків в агроценозі. Отримані дані мають істотно практичне значення для розробки та оптимізації стратегій управління фітосанітарним станом посівів. Зокрема, вони підкреслюють необхідність врахування сортової специфіки насіннєвого матеріалу, контамінації насіння фітопатогенними мікроорганізмами, а також впровадження ефективних сівозмін для попередження розвитку епіфітотій. Ці підходи є важливими для зменшення залежності агрофітоценозів від хімічних засобів захисту рослин, для мінімізації екологічних ризиків та забезпечення сталого розвитку сільського господарства.

Ключові слова: біотичні чинники, фітопатогенні мікроорганізми, інфекційні структури, сортові особливості, фітосанітарний стан, зернові культури, біологічне забруднення агроценозів, екологічна безпека.

ВСТУП

Зростаючі екологічні ризики в сучасному сільському господарстві обумовлюють порушення стійкості агроєкосистем. Вони мають комплексний характер, оскільки зумовлені одночасним впливом абіотичних [1; 2], біотичних [3–5] та антропогенних [6–8] чинників. Особливої уваги потребують біотичні чинники, зокрема фітопатогенні мікроорганізми, що формують складне біологічне середовище в агроценозах [9–11]. Їхня дія спричиняє порушення трофічних зв'язків, зміщення балансу між культурами та фітопатогенним мікробіо-

мом, що, як наслідок, підвищує рівень екологічних ризиків.

В умовах зміни клімату та посиленого антропогенного навантаження вплив біотичних чинників стає менш прогнозованим. Це створює додаткове фізіологічне навантаження на культурні рослини та ускладнює регуляцію екологічних ризиків. Порушення фітосанітарної стабільності, спричинено біологічним забрудненням агроценозу, часто є наслідком зниження врожайності та погіршення якості продукції, а зростання чисельності популяцій фітопатогенних мікроорганізмів поглиблює екологічні ризики, зумовлені зміною

екологічної рівноваги та зниженням продуктивності агроценозів.

Мета роботи — оцінити рівень екологічної небезпеки в агроценозах за взаємодії рослин ячменю ярого й вівса з фітопатогенними мікроміцетами та обґрунтувати підходи до мінімізації екологічних ризиків в агроценозах України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Аналіз вітчизняного та міжнародного досвіду свідчить про зростання загроз, пов'язаних із поширенням фітопатогенних мікроорганізмів і шкідників, а також змінами їхніх ареалів і щільності популяцій [4; 12–17]. Це обумовлює нагальну необхідність систематизації сучасних наукових підходів до оцінювання екологічних ризиків, спричинених біотичними чинниками, зокрема фітопатогенними мікроорганізмами, в умовах інтенсивного антропогенного навантаження на агроценози. Незважаючи на численні дослідження щодо сучасного стану агроєкосистем, питання оцінювання потенційних екологічних ризиків, зумовлених зниженням конкурентної спроможності культур у стресових умовах та зміною структури агроценозів, залишаються недостатньо вивченими.

Виникнення екологічної небезпеки в агроценозах за несприятливого впливу екологічних чинників досліджували зарубіжні вчені, зокрема Т. Dresselhaus та R. Hückelhoven [18], S. Biswas та R. Das [19], R. Bommarco [20] та ін. Вони встановили, що за таких обставин відбувається погіршення фітосанітарного стану посівів, втрата продуктивності та якості врожаю. Екологічні ризики пов'язані з біологічними характеристиками культурних рослин і особливостями їх культивування. Тому створення наукового забезпечення для регуляції фітопатогенного фону в агроєкосистемах, за впливу низки екологічних чинників, є актуальним.

Значну екологічну роль фітопатогенних мікроорганізмів у формуванні екологічних ризиків унаслідок погіршення фітосанітарного стану агрофітоценозів відмітили

українські дослідники, зокрема Г.О. Балан та Б.Н. Мілкус [21], Г.М. Ковалишина зі співавт. [22], В.П. Петренко з колегами [23], Д. Нікітін та ін. [24]. Автори запевняють, що основний екологічний ризик проявляється під час динамічного розвитку епіфітотійних хвороб, які спричиняють ґрунтові, насінневі та листкостеблові екологічні групи фітопатогенних мікроорганізмів.

Наприклад, Д. Нікітін із співавт. [24] стверджує, що біогеоценоз постає фактором передачі й нішею для накопичення ґрунтових інфекцій, які завдають шкоди агрофітоценозам основних польових культур. Головну роль у циклі розвитку і поширення фітоінфекцій цієї екологічної групи, на думку Г.О. Балан та Б.Н. Мілкус [21], відіграють ґрунт, насіння, рослинні рештки культур та бур'янів, які є основним депо накопичення інфекційних структур. Активний розвиток цих структур призводить до зріджування посівів та втрати продуктивності. Нагромадженню та поширенню ґрунтових інфекцій в агрофітоценозах сприяє знижена супресивність ґрунту через збіднення корисної ґрунтової мікробіоти.

Формування екологічної небезпеки, спричинених збудниками групи насінневих інфекцій, пов'язано з надходженням їх до агроценозів із посівним матеріалом. Як свідчать Т. Dresselhaus та R. Hückelhoven [18], унікальність виникнення екологічних ризиків через поширення насінневих інфекцій обумовлена біологічними особливостями насіння культур, здатністю збудників хвороб акумулюватись у насінні та рослинних рештках. Масове інфікування фітопатогенними грибами відбувається за наявності достатньо агресивного та вірулентного інфекційного матеріалу. Відомо, що з підвищенням інфекційного навантаження на одиницю площі, збільшується інтенсивність розвитку хвороб рослин [11; 15].

Сортові особливості культури відіграють ключову роль у формуванні екологічних ризиків в агроценозах. J. Lenné та D. Wood підтверджують, що культури та їх сорти мають неоднакові вимоги до екологічних умов розвитку, що обумовлюють їхню вро-

жайність, якість та стійкість до чинників навколишнього середовища [25]. Вирощування рослин сортів і гібридів, стійких до несприятливих умов, є шляхом уникнення екологічних загроз за вирощування культур. Однак сортові особливості є однією з причин виникнення екологічного ризику в агроценозі [26]. Висока стійкість сортів до інфекційних мікроміцетів здатні спричиняти відбір та накопичення агресивних форм збудників хвороб, тоді як сприйнятливі рослини можуть зумовлювати інтенсивний розвиток популяцій інфекційних структур [2]. Різноманітність та кількість фітопатогенних мікроміцетів, а також інтенсивність їхньої споруляції, значною мірою обумовлені сортом рослини [4]. Це пояснюється різним ступенем стійкості та сприйнятливості сортів до певних видів мікроміцетів та умов їхнього розвитку.

Відомо, що екзометаболіти рослин різних сортів сої можуть сприяти розвитку непатогенного мікробіому або активувати зростання фітопатогенних мікроорганізмів [5]. Спостерігається зниження інтенсивності споруляції грибів роду *Fusarium* на екзометаболітах сортів сої [27]. Це дає підстави припускати, що використання певних сортових особливостей культур може стримувати виникнення епіфітотії через накопичення фітопатогенних мікроміцетів, що призведе до зниження екологічного ризику.

Сорт рослин також діє на низку господарських ознак культури та різні аспекти росту чи розвитку рослин, включаючи їх взаємодію зі шкідниками та фітопатогенними мікроорганізмами [2]. Тому, сортові особливості культури впливають на чисельність популяцій фітопатогенних мікроорганізмів, на поширення та накопичення інфекційних структур в агрофітоценозах. Екзофітний та ендоефітний мікробіомом формується під дією фізіолого-біохімічних властивостей сорту рослин, які можуть пригнічувати розвиток популяцій фітопатогенних грибів та забезпечувати стійкість екологічних зв'язків [18; 27]. Окрім того, культурні рослини можуть стимулювати споруляцію фітопатогенних мікро-

міцетів упродовж вегетації, що спричиняє збільшення чисельності популяцій вірулентних рас грибів та інтенсивне зараження ними рослин. Це, своєю чергою, спонукає формування екологічного ризику в агроценозах через зростання потреби в інтенсивному хімічному захисті [18; 28].

Екологічні ризики, зумовлені фітопатогенним фоном в агрофітоценозі, залежать від спектра і кількості фітопатогенних грибів і від фізіолого-біохімічних властивостей сорту культурних рослин. Рівень екологічних загроз перевіряється показниками стійкості сорту до певних видів грибів та умовами для їхнього росту й розвитку [2]. Крім того, сорт культури контролює видовий склад фітопатогенних мікроміцетів та утворення фітопатогенного фону в агрофітоценозі [28].

Незважаючи на численні дослідження агроєкосистем, недостатньо вивченими залишаються питання оцінювання екологічних потенційних ризиків, зумовлених стресовими біотичними чинниками, контамінацією насіння та погіршенням фітосанітарного стану агроценозу, що призводить до порушення його екологічної рівноваги.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження базується на основі порівняльного аналізу вітчизняного та зарубіжного наукового досвіду щодо впливу біотичних чинників на формування екологічних ризиків в агроценозах. Об'єктом дослідження були зразки насіння різних сортів зернових культур, зокрема ячменю ярого (сорт Азарт, Мирний, Шарм, Салют, Богун) та вівса (сорт Нептун, Скарб України, Світанок, Парламентський, Тембр). Предметом цього дослідження є інтенсивність споруляції фітопатогенних мікроміцетів та їхній видовий склад на насінні зазначених сортів зернових культур, а також рівень екологічного ризику в агроценозах, викликаний цими біотичними чинниками.

Оцінку рівня екологічної небезпеки проводили за авторською градаційною шкалою, розробленою на основі методик [15; 21; 30; 31]. Ця шкала враховує ступінь

порушення екологічної рівноваги, фітосанітарне навантаження та адаптивну реакцію культурних рослин, дає можливість кількісно оцінити рівень екологічного ризику в балах. Вона застосовується для оцінювання ризиків, зумовлених інтенсивністю споруляції мікроміцетів у мікобіомі насіння сортів культур (представлено в розділі «Результати та їх обговорення»). Для оцінювання використано результати мікологічного аналізу насіння, що включає ідентифікацію та кількісний підрахунок (млн шт./мл конідій) фітопатогенних мікроміцетів, присутніх на насінні матеріалі зернових культур. А саме: за застосування показників інтенсивності споруляції фітопатогенних мікроміцетів на насінні ячменю ярого та вівса, отриманих в умовах органічного землеробства за результатами наукових досліджень, наведених у роботі колективу авторів [29].

Статистичну обробку даних здійснювали за врахування аналізу взаємозв'язку між інтенсивністю споруляції фітопатогенних мікроміцетів та рівнем екологічного ризику. Для візуалізації та кількісного вираження взаємозв'язку використовували метод лінійної регресії, що допомогло встановити лінійну статистичну залежність між інтенсивністю споруляції та рівнем екологічного ризику, а також визначити коефіцієнти детермінації (R^2).

Експериментальні дані оброблено методами математичної статистики, зокрема дисперсійним аналізом, а достовірність результатів оцінено за допомогою програми Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Шкала оцінювання рівня екологічних ризиків за інтенсивністю споруляції мікроміцетів на насінні сортів культур. За аналізом джерел наукової літератури [9; 30; 32; 33] виявлено, що зміни сортового складу, пов'язані з екологічними особливостями сортів та гібридів, можуть зумовлювати виникнення екологічних ризиків в агроценозах. Це відбувається внаслідок формування агресивних рас у популяціях збудника та

динаміки поширення хвороби. Інтенсивному посиленому розвитку хвороби в агроценозах сприяють запаси інфекційних структур у ґрунті, на рослинних рештках та насінні. Такі процеси можуть призводити до епіфітотій, збільшувати біологічне забруднення агроценозів і, як наслідок, формувати в них екологічні ризики.

Для оцінювання екологічної небезпеки накопичення конідій на органах рослин використовують шкалу інтенсивності споруляції фітопатогенів [9; 28; 30; 32; 33]. Така шкала відображає мінімальний ризик за концентрації конідій факультативних грибів-паразитів та градується у межах $0,1 \div 1,0$ млн од. в 1 мл. На нашу думку, інтенсивність споруляції є індикатором екологічного ризику. Тому, на основі зазначеної шкали, розроблено градаційну шкалу оцінювання екологічних ризиків в агроценозах, зумовлених збудниками хвороб. Така шкала допомагає оцінювати рівень екологічного ризику в агроценозах залежно від інтенсивності споруляції конідій фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів культур (табл. 1). Адже насіння є основним джерелом насінневих фітопатогенних інфекцій [21].

Таблиця 1. Градаційна шкала оцінювання екологічних ризиків за критерієм інтенсивності споруляції конідій фітопатогенних мікроміцетів

Концентрація конідій, млн од. в 1 мл	Рівень екологічного ризику, бал
<0,1	1 (мінімальний)
0,11–1,00	2 (незначний)
1,11–2,00	3 (підвищений)
2,11–4,00	4 (значний)
4,11–≥6,00	5 (високий)

Примітка: градацію розроблено авторами на основі [9; 30; 32].

Шкалу варто застосовувати для оцінювання потенційних екологічних ризиків від поширення фітопатогенних збудників хвороб, які залежать від особливостей екологічних груп сортів культур.

За розробленою шкалою проведено оцінку екологічних ризиків за критерієм інтенсивності споруляції мікроміцетів на насінні сортів зернових культур сортів ячменю ярого та вівса. За вихідні дані використано показники інтенсивності споруляції фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів ячменю ярого колективу авторів [29], отримані під час дослідження впливу сортових особливостей культури на формування стійких агроценозів. Оцінюванню підлягали насіння ячменю ярого (сорти Азарт, Богун, Мирний, Салют, Шарм) та насіння вівса (сорт Нептун, Світанок, Парламентський, Тембр, Скарб України), яке було контаміноване фітопатогенами різних екологічних груп. Їх видовий склад представлено родами: *Alternaria*, *Bipolaris*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Glicocladium*, *Nigrospora*. Однак за даними, наведеними у науковій публікації колективу дослідників [29], інтенсивність споруляції мікроміцетів сприяла розвитку мікозних хвороб рослин, тому постала необхідність оцінки екологічного ризику в агроценозах цих культур.

Аналіз рівня екологічного ризику за інтенсивністю споруляції фітопатогенів на насінні сортів ячменю ярого. За проведеним аналізом рівня екологічних загроз, спричиненим інтенсивністю споруляції

фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів ячменю ярого, встановлено, що індикатором потенційного екологічного ризику є сортові особливості ячменю ярого, які впливають на видовий склад фітопатогенних мікроміцетів та середню кількість їхніх конідій (млн шт./мл). Так, даними щодо рівня екологічного ризику в агроценозі (табл. 2) підтверджено, що різні сорти ячменю ярого обумовлюють різний потенціал до його формування, відрізняючись як за видовим спектром контамінантних мікроміцетів, так і за інтенсивністю їхньої споруляції.

Зокрема, на сортах Шарм, Мирний та Азарт, де спостерігали найменшу кількість конідій — 1,2, 1,3 і 1,5 млн шт./мл відповідно, видовий склад мікроміцетів включав такі поширені фітопатогенні види, як *Alternaria alternata*, *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium gramineum*, *Epicoccum neglectum* та *Glicocladium roseum*. Встановлено, що перелічені мікроміцети спричиняють підвищений рівень (3 бали) екологічного ризику. Втім одержані показники вказують на потенційно нижчий екологічний ризик порівняно з іншими досліджуваними сортами. Це може свідчити про їхню відносну стійкість або меншу сприятливість для розвитку деяких фітопатогенів.

Таблиця 2. Рівень екологічного ризику в агроценозі за показниками інтенсивності споруляції фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів ячменю ярого

Сорт ячменю ярого	Види мікроміцетів	Кількість конідій, млн шт./мл (середнє за видами)	Рівень екологічного ризику, бал
Азарт	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Bipolaris sorokiniana</i> , <i>Fusarium oxysporum</i>	1,5	3 (підвищений)
Мирний	<i>Bipolaris sorokiniana</i> , <i>Fusarium gramineum</i> , <i>Glicocladium roseum</i>	1,3	3 (підвищений)
Шарм	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Epicoccum neglectum</i> , <i>Glicocladium roseum</i>	1,2	3 (підвищений)
Салют	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Bipolaris sorokiniana</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Nigrospora oryzae</i>	3,6	4 (значний)
Богун	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Bipolaris sorokiniana</i> , <i>Epicoccum neglectum</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Glicocladium roseum</i> , <i>Nigrospora oryzae</i>	4,2	5 (високий)

На противагу цьому, значно вища інтенсивність споруляції фітопатогенних мікроміцетів на сортах ячменю ярого Салют та Богун обумовлює формування більш високого рівня екологічного ризику. Зокрема, сорт ячменю ярого Салют характеризується значним рівнем (4 бали) екологічного ризику, що корелює з середньою кількістю конідій 3,6 млн шт./мл. Його мікобіом містить комплекс фітопатогенних мікроміцетів, до яких належать гриби: *Alternaria alternata*, *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium oxysporum* та *Nigrospora oryzae*. Листкостеблова екологічна група інфекцій, яка представлена альтернاریозом (*Alternaria*) та пліснявими фітопатогенними грибами виду *Nigrospora*, характеризується широкими екологічними нішами, тобто запасом ресурсів для розмноження за настання сприятливих погодно-кліматичних умов. Висока інтенсивність споруляції досліджуваних мікроміцетів свідчить про високу вірогідність розвитку хвороб рослин сортів ячменю (за сприятливих погодних умов) та про виникнення екологічного ризику.

Найвищий показник — високий рівень (5 балів) екологічної небезпеки зафіксовано на рослинах ячменю сорту Богун. Це пояснюється найвищою інтенсивністю споруляції (4,2 млн шт./мл) і широким спектром виявлених фітопатогенних грибів, до яких належать: *Alternaria alternata*, *Bipolaris sorokiniana*, *Epicoccum neglectum*, *Fusarium oxysporum*, *Glicocladium roseum* та *Nigrospora oryzae*. Висока інтенсивність споруляції перелічених мікроміцетів вказує на значний потенційний екологічний ризик, пов'язаний із поширенням хвороб у агроценозі за сприятливих умов.

Наявність збудників фузаріозної гнилі (грибів *Fusarium oxysporum*, *Fusarium gramineum*) та гельмінтоспоріозної (гриба *Bipolaris sorokiniana*), що належать до ґрунтово-повітряно-насінневої підгрупи інфекцій, посилює загрозу зростання рівня екологічного ризику.

Отримані результати підтверджують, що сортові особливості ячменю ярого обумовлюють формування мікобіому насіння та, як наслідок, визначають потенційний

рівень екологічного ризику в агроценозі. Сорти з меншою інтенсивністю споруляції (Шарм, Мирний, Азарт) несуть нижчий екологічний ризик, тоді як сорти Салют та, особливо, Богун, є більш вразливими до ураження фітопатогенними мікроміцетами, що зумовлює більш високий рівень екологічної небезпеки. Ці результати досліджень підкреслюють важливість вибору сорту, як елемента стратегії інтегрованого захисту рослин та управління екологічними ризиками в сучасному сільському господарстві.

За підсумками оцінювання побудовано модель лінійної статистичної залежності рівня екологічного ризику (бал) від інтенсивності споруляції (млн шт./мл) некротрофних мікроміцетів на насінні сортів ячменю ярого (рис. 1).

Як видно з діаграми, зі збільшенням кількості конідій спостерігається чітке зростання рівня екологічного ризику, що підтверджує пряму кореляцію між цими показниками. Лінійна регресійна залежність для кількості конідій свідчить про виражену позитивну залежність, що описується рівнянням $y=0,7945x$ з високим коефіцієнтом детермінації ($R^2=0,965$). Це вказує на те, що близько 96,5% варіабельності кількості конідій пояснюється інтенсивністю споруляції на насінні різних сортів ячменю ярого. Аналогічно, лінійна регресійна залежність фіксує стійке підвищення рівня екологічного ризику (в балах) зі збільшенням інтенсивності споруляції конідій. Рівняння цієї залежності ($y=1,0727x$) з коефіцієнтом детермінації $R^2=0,9307$, підтверджує, що понад 93% варіабельності рівня екологічного ризику безпосередньо обумовлено зміною сорту.

Тому, сорти ячменю ярого, за впливу інфекційного фону та інтенсивності споруляції фітопатогенних мікроміцетів на насінні, можуть спричиняти різний рівень екологічного ризику в агроценозі культури. Виявлена лінійна залежність пояснює, що інтенсивність споруляції фітопатогенних мікроміцетів є надійним кількісним індикатором для оцінки рівня потенційної

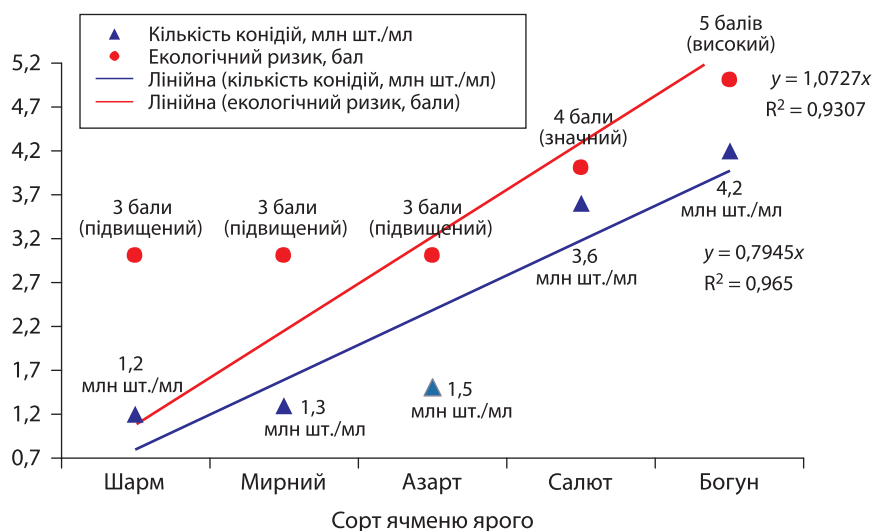


Рис. 1. Лінійна статистична залежність рівня екологічного ризику (бал) від інтенсивності споруючості (млн шт./мл) некротрофних мікроміцетів на насінні сортів ячменю ярого

екологічної небезпеки в агроценозах сортів ячменю ярого.

Біологічне забруднення агроценозів фітопатогенними інфекційними структурами, особливо швидко поширюваними та адаптивними грибами, може призвести до низки екологічних ризиків. Це включає розвиток хвороб, зниження продуктивності рослин та негативний вплив на біорізноманіття. З огляду на ці загрози, вкрай важливо розробляти та впроваджувати ефективні стратегії для контролю і запобігання такого роду забруднення та мінімізації формування екологічних ризиків в агроценозах.

Аналіз рівня екологічного ризику в агроценозі за інтенсивністю споруючості фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів вівса. За проведеним аналізом встановлено взаємозв'язок між інтенсивністю споруючості фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів вівса та рівнем екологічного ризику в агроценозі (табл. 3). Матеріали, представлені в табл. 3, свідчать, що рівень екологічного ризику в агроценозі сортів вівса корелює як з інтенсивністю споруючості, так і з видовим складом фітопатогенних мікроміцетів, який залежить від сорту. Зокрема, відомо, що до екологічної групи ґрунтових інфекцій належать три

види збудників роду *Fusarium*: *F. culmorum*, *F. sporotrichioides* і *F. graminearum*. Їх віднесено до цієї групи, оскільки вони є типовими сапротрофами, які зберігаються і поширюються в ґрунті на рослинних рештках. Такий механізм виживання та інфікування підтверджується численними дослідженнями. Наприклад, у роботі Н. Khalifi та ін. [34] детально описано, що види *Fusarium* є звичайними мешканцями ґрунту, де вони можуть існувати роками, утворюючи хламідоспори (спори з потовщеною оболонкою, стійкі до несприятливих умов). Ці гриби є небезпечними, адже вони здатні до утворення мікотоксинів, які становлять загрозу для здоров'я людини та тварин.

За аналізом сортових відмінностей встановлено, що сорти вівса Скарб України та Нептун обумовлюють підвищений рівень (3 бали) екологічного ризику. На насінні цих сортів середня кількість конідій становить 1,2 млн шт./мл та 1,3 млн шт./мл відповідно. Їхній мікобіом включає такі фітопатогенні мікроміцети як: *Alternaria tenuissima*, *Drechslera avenae*, *Fusarium sporotrichioides*, *Fusarium culmorum* та *Nigrospora oryzae*.

Сорти Тембр, Світанок та Парламентський характеризуються значно вищою ін-

Таблиця 3. Рівень екологічного ризику в агроценозі за показниками інтенсивності споруляції фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів вівса

Сорт вівса	Види мікроміцетів	Кількість конідій, млн шт./мл (середнє за видами)	Рівень екологічного ризику, бал
Нептун	<i>Alternaria tenuissima</i> , <i>Drechslera avenae</i> , <i>Fusarium sporotrichioides</i>	1,3	3 (підвищений)
Скарб України	<i>Alternaria tenuissima</i> , <i>Fusarium culmorum</i> , <i>Fusarium gramineum</i> , <i>Nigrospora oryzae</i>	1,2	3 (підвищений)
Світанок	<i>Drechslera avenae</i> , <i>Fusarium sporotrichioides</i> , <i>Nigrospora oryzae</i>	3,0	4 (значний)
Парламентський	<i>Alternaria tenuissima</i> , <i>Drechslera avenae</i> , <i>Fusarium sporotrichioides</i>	3,3	4 (значний)
Тембр	<i>Alternaria tenuissima</i> , <i>Drechslera avenae</i> , <i>Fusarium sporotrichioides</i> , <i>Nigrospora oryzae</i>	2,8	4 (значний)

тенсивністю споруляції, на їх насінні кількість конідій сягає 2,8, 3,0 і 3,3 млн шт./мл відповідно для сортів. Така інтенсивність споруляції обумовлює значний рівень (4 бали) екологічного ризику.

Отримані результати визначили, що інтенсивність споруляції фітопатогенних мікроміцетів є надійним кількісним індикатором для оцінки потенційної екологіч-

ної небезпеки в агроценозах сортів вівса, а сортові особливості культури є визначальними у формуванні цього ризику.

Побудовано модель лінійної статистичної залежності рівня екологічного ризику (бал) від інтенсивності споруляції (млн шт./мл) фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів вівса (рис. 2), яка фіксує високу пряму кореляційну залежність між

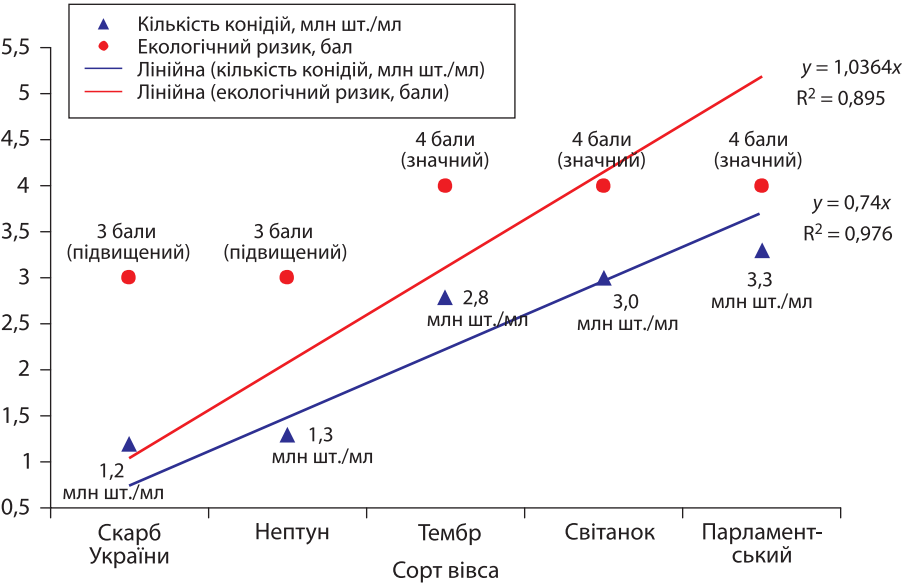


Рис. 2. Лінійна статистична залежність рівня екологічного ризику (бал) від інтенсивності споруляції (млн шт./мл) некротрофних мікроміцетів на насінні сортів вівса

досліджуваними показниками. Лінійна регресійна залежність для кількості конідій фітопатогенних мікроміцетів показує позитивну залежність, що описується рівнянням ($y=0,74x$) з високим коефіцієнтом детермінації ($R^2=0,976$). Це свідчить про те, що значна частина варіабельності кількості конідій (майже 97,6%) пояснюється зміною сортів вівса.

Лінійна регресійна залежність для екологічного ризику також пояснює високу кореляцію зростання рівня екологічного ризику зі збільшенням інтенсивності споруючості фітопатогенів. Рівняння цієї залежності ($y=1,0364x$) з коефіцієнтом детермінації $R^2=0,895$ підтверджує, що близько 89,5% варіабельності рівня екологічного ризику безпосередньо обумовлено інтенсивністю споруючості фітопатогенних мікроміцетів.

За взаємодії з рослинами сортів вівса Скарб України та Нептун, показники споруючості мікроміцетів сягають 1,2 і 1,3 млн шт./мл відповідно, та корелюють з підвищеним рівнем (3 бали) екологічної небезпеки. Водночас, висока інтенсивність споруючості фітопатогенних мікроміцетів під час взаємодії із сортами вівса Тембр, Світанок та Парламентський (2,8, 3,0 і 3,3 млн шт./мл відповідно) призводить до високого рівня (4 бали) екологічного ризику.

Отже, одержані результати дослідження показали, що інтенсивність споруючості фітопатогенних мікроміцетів на насінні сортів вівса є надійним кількісним індикатором для оцінки рівня потенційних екологічних загроз в агроценозі. Чітко виражена лінійна статистична залежність між цими параметрами свідчить про те, що вибір сорту вівса має безпосередній вплив на фітосанітарний стан насіння та подальше формування екологічних ризиків в агроценозі. Це пояснює про необхідність врахування сортової схильності до контамінації фітопатогенами під час планування агротехнічних заходів для мінімізації екологічних ризиків та забезпечення стабільності агроценозів.

Отже, контаміновані фітопатогенними мікроміцетами сорти сільськогосподар-

ських культур можуть становити небезпеку біологічного забруднення агроценозу та виникнення в ньому екологічної небезпеки. Інтенсивність споруючості у поєднанні з видовим складом фітопатогенів може бути використана як критерій оцінки рівня екологічного ризику. Для попередження назрівання екологічних ризиків за впливу біотичних чинників на розвиток епіфітотій в агроценозі, необхідно враховувати: наявність екологічних груп збудників хвороб рослин та інфекційних початків; існування сприятливих рослин-живителів у період виникнення епіфітотій; наявність та тривалість сприятливих екологічних умов для розвитку епіфітотій.

ВИСНОВКИ

Рівень екологічного ризику в агроценозі культурних рослин ячменю озимого та вівса значною мірою залежить від сортових особливостей та інтенсивності споруючості фітопатогенних мікроміцетів на насінні.

Чітка лінійна статистична залежність між інтенсивністю споруючості фітопатогенних мікроміцетів (млн шт./мл) та рівнем екологічної небезпеки (в балах) для сортів ячменю ярого та вівса дає можливість використовувати показник споруючості як надійний кількісний критерій для оцінки потенційних екологічних ризиків.

Контаміноване фітопатогенними мікроміцетами насіння є джерелом біологічного забруднення агроценозів, що може призводити до поширення хвороб, зниження продуктивності рослин та негативного впливу на біорізноманіття. Встановлений диференційований рівень екологічного ризику для різних сортів ячменю ярого та вівса підкреслює важливість сортового вибору.

Комплексний підхід, що охоплює ідентифікацію й оцінку впливу біотичних чинників та добір оптимальних інструментів регуляції, забезпечує ефективне попередження та мінімізацію екологічних ризиків розвитку епіфітотій в агроценозах, особливо в умовах біологічної деградації ґрунтів.

ЛІТЕРАТУРА

- Olowoyeye, T., Abegunrin, G., & Sojka, M. (2024). Are Agroecosystem Services Under Threat? Examining the Influence of Climate Externalities on Ecosystem Stability. *Atmosphere*, 15(12), 1480. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos15121480>.
- Парфенюк, А. І. (2017). Сорт рослин як чинник біологічної безпеки в агроценозах України. *Агро-екологічний журнал*, 2, 155–163. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220172>.
- Schatte, P., & Meyer, M. A. (2025). Assessing holistic agroecological resilience of agroecosystems from a landscape perspective: a systematic review. *Ecology and Society*, 30(2). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15077447>.
- Asghar, W., Craven, K. D., Swenson, J. R., Kataoka, R., Mahmood, A., & Farias, J. G. (2024). Enhancing the Resilience of Agroecosystems Through Improved Rhizosphere Processes: A Strategic Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(1), 109. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms26010109>.
- Molefe, R. R., Amoo, A. E., & Babalola, O. O. (2023). Communication between plant roots and the soil microbiome; involvement in plant growth and development. *Symbiosis*, 90, 231–239. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13199-023-00941-9>.
- De Vries, W. (2021). Impacts of nitrogen emissions on ecosystems and human health: A mini review. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 21, 100249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100249>.
- Semeraro, T., Scarano, A., Leggieri, A., Calisi, A., & De Caroli, M. (2023). Impact of Climate Change on Agroecosystems and Potential Adaptation Strategies. *Land*, 12(6), 1117. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12061117>.
- Trokhymenko, G. G., Grushyna, O. G., Marynets, O. M., & Blahodatnyi, V. V. (2022). Study of harmful effects of pesticides, especially seed producers, on the components of agroecosis. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/142940>.
- Yang, H., & Luo, P. (2021). Changes in photosynthesis could provide important insight into the interaction between wheat and fungal pathogens. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(16), 8865. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22168865>.
- Barret, M., Guimbaud, J. F., Darrasse, A., & Jacques, M. A. (2016). Plant microbiota affects seed transmission of phytopathogenic microorganisms. *Mol Plant Pathol.*, 17(6), 791–5. DOI: <https://doi.org/10.1111/mp.12382>.
- Поспелова, Г. Д., Коваленко, Н. П., Нечипоренко, Н. І., & Кочерга, В. Я. (2020). Вплив агрокліматичних факторів на розвиток основних хвороб сої. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*, (3), 45–52. DOI: [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3\(107\)-6](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3(107)-6).
- Marambe, B., & Wijesundara, S. (2021). Effects of climate change on weeds and invasive alien plants in Sri Lankan agro-ecosystems: policy and management implications. *Frontiers in Agronomy*, 3(36), 641006. DOI: <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.641006>.
- Безноско, І. В., Парфенюк, А. І., Шерстобоева, О. В., Гаврилюк, Л. В., Терновий, Ю. В., & Горган, Т. М. (2020). Видовий склад фітопатогенних мікроміцетів насіння сортів культурних рослин. *Агроекологічний журнал*, 2, 84–90. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207685>.
- Кулешов, А. В., Білик, М. О., Станкевич, С. В., & Забродіна, І. В. (2016). *Практикум з моніторингу шкідників сільськогосподарських культур*. Харків: ХНАУ.
- Станкевич, С. В., Забродіна, І. В., Білик, М. О., Євтушенко, М. Д., Туренко, В. П., Леженіна, І. П., & Малина, Г. В. (2021). *Теорія і технологія прогнозування і прийняття рішень у захисті і карантині рослин: навч. посіб.* Харків: вид-во Іванченка І.С.
- Grace, M. A., Achick, T. E., Bonghan, B. E., Bih, M. E., Ngo, N. V., Ajeck, M. J., ... Ntungwen, F. C. (2019). An overview of the impact of climate change on pathogens, pest of crops on sustainable food biosecurity. *International Journal of Ecotoxicology and Ecology*, 4, 114–119. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ijee.20190404.15>.
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature ecology & evolution*, 3(3), 430–439. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>.
- Dresselhaus, T., & Hückelhoven, R. (2018). Biotic and Abiotic Stress Responses in Crop Plants. *Agronomy*, 8(11), 267. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy8110267>.
- Biswas, S., & Das, R. (2024). Organic farming to mitigate biotic stresses under climate change scenario. *Bull Natl Res Cent.*, 48, 71. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42269-024-01226-x>.
- Bommarco, R. (2024). Ecological redesign of crop ecosystems for reliable crop protection. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 44, 51. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-024-00987-z>.
- Балан, Г. О., & Мілкус, Б. Н. (2020). *Еніфітологія: методичні рекомендації*. Одеса.
- Ковалишина, Г. М., Дмитренко, Ю. М., Муха, Т. І., Мурашко, Л. А., & Волошук, С. І. (2017). Особливості розвитку хвороб пшениці озимої залежно від погодних умов. *Миронівський вісник*, (5), 166–183. DOI: <https://doi.org/10.31073/mvis.201705-13>.
- Петренко, В. П., Лучна, І. С., & Боровська, І. Ю. (2016). Залежність фітосанітарного стану посівів пшениці озимої від погодних умов. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*, (20), 60–68.
- Nikitin, D. A., Ivanova, E. A., Semenov, M. V., Zhelezova, A. D., Ksenofontova, N. A., Tkhakakhova, A. K., & Kholodov, V. A. (2023). Diversity, ecological characteristics and identification of some problematic phytopathogenic Fusarium in soil: a review. *Diversity*, 15(1), 49. DOI: <https://doi.org/10.3390/d15010049>.

25. Lenné, J., & Wood, D. (2024). Crop Diversity in Agroecosystems for Pest Management and Food Production. *Plants*, 13(8), 1164. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13081164>.
26. Ткачук, О. П., & Алексєєв, О. О. (2022). Технологічні та агроекологічні показники груп сортів сої за стиглістю. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер.: Агрономія і біологія*, 2(48), 165–172. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.22>.
27. Adeleke, B. S., Ayilara, M. S., Akinola, S. A., & Babalola, O. O. (2022). Biocontrol mechanisms of endophytic fungi. *Egyptian Journal of Biological Pest Control.*, 32(1), 46. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41938-022-00547-1>.
28. Beznosko, I., Havryliuk, L., Mazur, S., Gorgan, T., Mosiychuk, I., Bashta, O., ... Turovnik, J. (2023). Formation of the Population of Micromycetes in the Leaf Microbiome of Cereal Cultures Using Different Plant Cultivation Technologies. *Journal of Ecological Engineering*, 24(11), 236–248. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/171648>.
29. Мостов'як, І. І., Дем'янюк, О. С., Парфенюк, А. І., & Безноско, І. В. (2020). Сорт як фактор формування стійких агроценозів зернових культур. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 2, 110–118. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.02.13>.
30. Парфенюк, А. І., Благініна, А. А., Горган, Т. М., Безноско, І. В., Стерлікова, О. М., Ковтун, В. В., ... Горган, Н. О. (2014). *Екологічне оцінювання сортів пшениці за впливом на формування популяцій фітопатогенних грибів. Методичні рекомендації*. Київ, ТОВ «ДІА».
31. Кулешов, А. В., & Билик, М. О. (2014). *Практикум з прогнозу розвитку хвороб сільськогосподарських культур*. Харків: Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва.
32. Sakr, N. (2022). Adaptation of Phytopathogenic Fungi to Quantitative Host Resistance: *In Vitro* Selection for Greater Aggressiveness in Fusarium Head Blight Species on Wheat. *Cytol. Genet.*, 56, 261–272. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0095452722030112>.
33. Trivedi, P., Leach, J. E., Tringe, S. G., Sa, T., & Singh, B. K. (2020). Plant-microbiome interactions: from community assembly to plant health. *Nat. Rev. Microbiol.*, 18(11), 607–621. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0412-1>.
34. Khalifi, H., Bentata, F., Labhilili, M., Hammoumi, S., Karim, S., Abdelali, M., ... Ziri, R. (2025). Identification, Morphological Characterization and Distribution of Fusarium species in Moroccan Wheat. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 9(5). DOI: <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v9i5.59>.

Стаття надійшла до редакції журналу 16.07.2025

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФІРНИХ ОЛІЙ ТА ЇХ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ В МЕДИЦИНІ

Л.В. Гаврилюк¹, Д.Т. Гентош², О.В. Башта²

¹Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: gavrilluklilia410@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6901-0766

²Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, Україна)
e-mail: dgentosha@ukr.net; ORCID: 0000-0001-8647-7843
e-mail: elenabashata@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4682-1595

У статті розглянуто сучасний стан наукових досліджень, присвячених лікарським та ефіроолійним культурам, які становлять важливу складову фармацевтичної, харчової та косметичної промисловості. Особливу увагу приділено аналізу наукової літератури останніх років, що охоплює широкий спектр тем, пов'язаних із вивченням морфолого-анатомічних, фітохімічних та фармакологічних властивостей цих рослин. Описано лікувальні властивості цих речовин, включно з протимікробною, антиоксидантною, протизапальною, спазмолітичною, седативною та алелопатичною дією, що відкриває нові можливості для використання цих культур у медицині та сільському господарстві. Значна увага приділяється потенціалу застосування ефірних олій і фітокомпонентів у різних сферах, а саме в медицині, фармацевтичній промисловості, сільському господарстві та екологічно орієнтованих технологіях. Окрім того, науковці розробляють нові засоби для доглядів за рослинами на основі алелохімічних речовин, які можуть замінити традиційні синтетичні засоби, адже у зв'язку з негативними наслідками тривалого використання синтетичних гербіцидів, які порушують екологічну рівновагу, спричиняють деградацію ґрунтів, забруднення водних ресурсів і накопичення токсичних речовин у харчовому ланцюгу, дедалі більше уваги приділяється пошуку екологічно безпечних альтернатив. Одним із перспективних напрямів є застосування ефірних олій, що мають виражений алелопатичний потенціал. Ці природні сполуки здатні пригнічувати ріст бур'янів та шкідливих мікроорганізмів завдяки вмісту біоактивних компонентів, як-от терпени, феноли та альдегіди. Використання ефірних олій як природних гербіцидів відкриває можливості для створення нових засобів захисту рослин, які є біологічно розкладними, нетоксичними та безпечними як для навколишнього середовища, так і для здоров'я людини. Крім того, такі препарати не викликають резистентності у бур'янів, що є важливою перевагою порівняно з хімічними аналогами. Тому, впровадження ефірних олій у практику агровиборництва може стати важливим кроком на шляху до сталого землеробства та біологізації сільського господарства.

Ключові слова: лікарські і ефіроолійні рослини, біоактивні речовини, протимікробна, антиоксидантна, протизапальна та алелопатична дії.

ВСТУП

Вивчення лікарських і ефіроолійних рослин на сьогодні є одним із ключових напрямів у біомедичних та аграрних науках. Ці культури розглядаються як цінне джерело натуральних біологічно активних речовин, що мають широкий спектр застосування: від створення лікарських засобів і косметичних препаратів до використання у засобах захисту рослин та функціональних харчових продуктах. Зростаючий попит на природну сировину, безпечну для довкілля

й здоров'я людини, обумовлює необхідність глибокого наукового аналізу потенціалу ефірних олій та фітокомпонентів [1].

Однак, ефективне впровадження цих ресурсів у практику нашої країни на низку наукових і технологічних викликів. Передусім бракує комплексної інформації щодо хімічного складу, механізмів дії, стабільності та біодоступності активних сполук. Багато видів лікарських рослин залишаються недостатньо дослідженими, а їхні препарати — не стандартизованими. Додаткові труднощі виникають через

залежність якісного складу сировини від чинників середовища: кліматичних умов, ґрунту, способів збирання і зберігання. Важливою екологічною проблемою є також потреба в збереженні природного різноманіття та у відповідальному застосуванні рослинних ресурсів.

Метою дослідження є аналіз сучасних наукових підходів до вивчення лікарських і ефіроолійних рослин, оцінка їхнього біологічного потенціалу, а також формування напрямів для подальших досліджень і практичного застосування в рамках стійкого розвитку біотехнологій та природоорієнтованих інновацій.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Ефірні олії використовуються з давніх часів у багатьох культурах як засіб для поліпшення фізичного та психічного здоров'я. Вони застосовувалися ще в Давньому Єгипті, Індії, Китаї та інших країнах для релаксації, покращанні настрою, ароматерапії, косметології та медичних цілях, оскільки вони мають антисептичні, заспокійливі та лікувальні властивості. Використання ефірних олій датують приблизно 3000 років до н.е. [2; 3].

Наразі відомо понад 2000 видів рослин, уміст ефірних олій в яких коливається від 0,1 до 4%. Застосування ефірної олії залежить від їх хімічного складу та цінності компонентів. Кожна рослина має свої унікальні ароматичні властивості та належать переважно до таких родин, як *Asteraceae*, *Lamiaceae*, *Lauraceae* [3].

В Україні вирощують близько 50 видів рослин, які можуть бути джерелом ефірних олій. Кожен вид має свої специфічні властивості та застосування. Серед розповсюджених видів рослин, до складу яких входять ефірні олії, є: лаванда (*Lavandula*), череда (*Bidens*), ромашка (*Matricaria*), меліса (*Melissa*), м'ята (*Mentha*), часник (*Allium*) тощо.

Дослідження лікарських та ароматичних рослин є зростаючою галуззю як у вітчизняній, так і в міжнародній науковій літературі. Вчені та дослідники в усьому світі

вивчають терапевтичні властивості різних рослин та ефірних олій на предмет їх потенційної лікувальної медичної користі.

Дослідниками A. Sher, D. Andrade, V. Rezende та ін. було з'ясовано, що ефірні олії здатні пригнічувати розмноження харчових патогенів, зокрема як-от *Salmonella* spp., *Escherichia coli* та *Listeria monocytogenes* [4]. У наукових працях D. Nazari, H. Badi, та ін. було проаналізовано антиоксидантну активність *Zataria multiflora* (затарія багатоквіткова або чебрець Ширази) [5]. Останні роботи L. Kaïrey у співавт. із вченими повідомляють про ефективне застосування ефірної олії чайного дерева (протизапальна дія) [6]. В наукових працях C. Fernandes, A. Dias, J. Santos, I. da Silva, та M. Miranda розкрито аделопатичну та протигрибкову дію екстрагованих із сухих листків ефірних олій Каліптрантес концинна [7].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ця стаття має оглядовий характер і базується на аналізі наукових джерел, що висвітлюють сучасний стан досліджень лікарських і ефіроолійних культур. Інформаційною базою для написання роботи слугували публікації у рецензованих міжнародних та вітчизняних наукових журналах, а також дані з електронних наукових баз: PubMed, ScienceDirect, Scopus, Google Scholar.

Методологія аналізу включала контент-аналіз наукових текстів, порівняння результатів, систематизацію знань із метою визначення основних тенденцій, проблемних аспектів та перспектив подальших досліджень.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОРОДЖЕННЯ

Ефірні олії — це суміші природних ароматичних речовин маслянистої консистенції, що легко випаровуються та формуються в різних органах рослин, зокрема у листках, квітах, корі й коренях. Основу хімічного складу ефірних олій становлять переважно сполуки з класу терпеноїдів, хоча іноді до їхнього складу входять і пред-

ставники аліфатичних або ароматичних рядів. Серед компонентів можна виділити як вуглеводневі, так і кисневмісні речовини: спирти, феноли, альдегіди, кетони, кислоти, оксиди, а також прості та складні ефіри. Свою назву ці речовини отримали завдяки характерній властивості — легкій леткості (ефірність) та маслянистій консистенції (олії). У рослинах ефірні олії накопичуються в спеціалізованих структурах як зовнішнього (екзогенного), так і внутрішнього (ендогенного) походження [8; 9].

Фізико-хімічні та біологічні характеристики. Як правило, ефірні олії мають прозору або злегка жовтувату забарвлення. Водночас існують винятки, пов'язані з особливостями хімічного складу. Наприклад, ефірна олія бергамоту може мати зеленуватий відтінок завдяки наявності хлорофілу, а свіжа олія чебрецю — червонувате забарвлення (крім того, різні види чебрецю мають різне забарвлення ефірної олії, що обумовлено хімічним складом). Усі ефірні олії мають запашні речовини, добре розчиняються в жирних оліях та спирті [10].

Ефірні олії та сировина, що містять терпеноїди, мають широкий спектр біологічно активних речовин та корисні властивості. До прикладу, ефірна олія лаванди (*Lavandula spica*) має заспокійливу, спазмолітичну, антимікробну дію [11–13].

Також лаванда містить багато корисних елементів: кумарини, вітаміни, дубильні речовини, ліналоол, смоли, а також валеріанову, капронову та оцтову кислоти. Ефірна олія коріандру (*Coriandrum sativum*) має бактерицидну, слабку цитотоксичну, жовчогінну дію, а також покращує травлення та зменшує метеоризм [14].

Плоди коріандру містять низку біологічно активних сполук, серед яких терпени, аскорбінова кислота, фелландрен, пінени, жирні олії, пектинові речовини та алкалоїди. Ключову роль серед активних компонентів відіграє ефірна олія, що включає такі сполуки, як цимол, борнеол, ліналоол та їхні ефіри [15].

Ефірна олія м'яти (*Mentha piperita*) у своєму складі має ментол і терпеноїди: пінени, лимонен, цинеол, фелландрен та

ін., завдяки чому олія має антисептичну, спазмолітичну, жовчогінну дію. Також містить бактерицидну, протівірусну, протигрибкову дії. Ефективне її використання за гострих респіраторних і гострих респіраторно-вірусних інфекцій, є жарознижувальним засобом; сприяє відновленню голосу у разі ларингіту [16; 17].

Ефірна олія шавлії *Salvia officinalis* характеризується складним хімічним складом, завдяки якому вона має специфічний аромат і біологічну активність. До її компонентів входять терпени, кетони, ефіри та інші органічні сполуки, що визначають властивості цього ароматичного продукту. Серед позитивних властивостей, що впливають на стан людини слід зазначити бактерицидну та спазмолітичну дію [18; 19].

Вчені О.В. Шевчук, Л.М. Голосна та їх співавтори провели дослідження щодо фунгістатичної дії рослинних екстрактів проти альтернаріозу, де виявили, що екстракти шавлії лікарської, полину однорічного та маклеї серцеподібної проявили виражену фунгістатичну дію проти *Alternaria tenuissima*. Науковці вважають, що ці дані свідчать про потенційну можливість використання екстрактів цих рослин для розробки засобів захисту рослин від альтернаріозу в майбутньому [20].

Багато ефірних олій, завдяки їх антимікробній дії мають різноманітне застосування, а саме ефективно знищують деякі грибові, вірусні й бактеріальні збудники, включаючи стійких до метициліну *Staphylococcus aureus* і *Candida albicans*, які є поширеними мікроорганізмами мікробіому шкіри. Завдяки широкому спектру хімічних сполук, що входять до складу ефірних олій, рослини мають антимікробну дію, що пов'язана з поєднанням кількох механізмів дії на різні частини мікробної клітини. Також володіє антиоксидантними та протизапальними властивостями. Крім того, існує алелопатична взаємодія [21].

У сфері медицини активно використовують як ефіроолійну сировину, так і самі ефірні олії, включаючи їх окремі фракції та індивідуальні компоненти — наприклад, ментол, тимол і камфору. Такі

ефірні олії, як камфорна, скипидарна та розмаринова, часто входять до складу лікувальних мазей, призначених під час ревматичних болях, невралгії та симптомах застуди. Завдяки розчиненню у жирах, ці олії після нанесення на шкіру проявляють протизапальні властивості. Крім того, багато з них мають відхаркувальний ефект: вони впливають на секрецію бронхіальних залоз, регулюючи обсяг слизу. Деякі ефірні олії та сировина для їхнього добування (зокрема з чебрецю, пижма, полину) демонструють виражену антигельмінтну активність [22].

Антибактеріальна дія ефірних олій обумовлена їх гідрофобними властивостями. Завдяки цьому вони здатні взаємодіяти з ліпідною оболонкою бактеріальних клітин, порушуючи її цілісність і підвищуючи проникність мембрани. Найбільш ефективними у цьому плані вважаються ефірні олії, багаті на фенольні сполуки або альдегіди, як-от тимол, карвакрол, цитраль, евгенол, циннамальдегід. Ці компоненти руйнують мембрани мікроорганізмів, порушують електронний транспорт, протонний потік і викликають коагуляцію внутрішньоклітинного вмісту, що призводить до загибелі бактерій [23].

Важливо зазначити, що ефірні олії більш активні проти грампозитивних, ніж грамнегативних бактерій. Останні менш сприйнятливі до дії ефірних олій із зовнішньою мембраною, що оточує клітинну стінку, яка обмежує дифузію гідрофобних сполук через її ліпополісахаридну плівку. До того ж антибактеріальна активність ефірних олій пов'язана з їх хімічним складом, пропорціями летючих молекул та їх взаємодією [24]. Адитивний ефект спостерігається, коли комбінація дорівнює сумі окремих ефектів. Антагонізм відбувається, коли ефект однієї або обох сполук менш важливий, коли вони тестуються разом, ніж їх окреме використання.

Дослідження А. Sher, D. Andrade, V. Rezende та ін. показали, що ефірні олії здатні ефективно пригнічувати ріст і розмноження небезпечних харчових патогенів, зокрема як-от *Salmonella* spp., *Escherichia coli* та

Listeria monocytogenes. Це робить їх перспективною альтернативою традиційним антимікробним препаратам або ж допоміжним засобом до основного лікування, що може зменшити ризик токсичних побічних ефектів і підвищити загальну ефективність терапії [4; 25].

Антиоксидантна активність. Також численні наукові роботи підтверджують антиоксидантну активність ефірних олій. Їх здатність нейтралізувати вільні радикали прямо залежить від хімічного складу, насамперед від наявності фенольних сполук та інших біологічно активних компонентів. Встановлено, що фенольні сполуки та вторинні метаболіти з кон'югованими подвійними зв'язками зазвичай виявляють значні антиоксидантні властивості. У більшості ефірних олій переважають оксигеновані монотерпени, як-от спирти (*Achillea filipendulina*), альдегіди (*Galagania fragrantissima*), кетони (*Anethum graveolens*, *Artemisia rotifolia*, *Hyssopus seravschanicus*, *Mentha longifolia* та *Ziziphora clinopodioides*) та складні ефіри (*Salvia officinalis*) [5; 6; 26].

До числа ефірних олій із вираженими антиоксидантними властивостями належать олії кориці, мускатного горіха, гвоздики, чебрецю, васильок, петрушки та материнки. Основними активними речовинами в їхньому складі є тимол і карвакрол — сполуки з фенольною будовою, що обумовлює їхню високу біологічну активність. Крім того, антиоксидантна дія ефірних олій частково пояснюється наявністю таких компонентів, як спирти, ефіри, кетони, альдегіди й монотерпени: ліналоол, 1,8-цинеол, гераніал, нерал, цитронелаль, ізоментон, ментон, α -терпінен, β -терпінен та α -терпінолен [5].

Завдяки здатності нейтралізувати вільні радикали, ефірні олії можуть відігравати важливу роль у профілактиці хронічних і дегенеративних захворювань, зокрема серцево-судинних патологій, онкологічних процесів, нейродегенеративних порушень і ослаблення імунної системи. Ці захворювання можуть бути наслідком пошкодження клітин, викликаного вільними радикалами [26].

У наукових працях D. Nazari, H. Badi, A. Mehrafarin, F. Taj-abadi, M. Soltanipour було оцінено антиоксидантну активність ефірної олії *Zataria multiflora* (затарія багатоквіткова) у щурів. Антиоксидантну активність вимірювали за допомогою тесту на інгібування радикалів 1,1-дифеніл-2-пікрілгідразилу та інгібування перекисного окислення ліпідів шляхом вимірювання індексу реактивних речовин тіобарбітурової кислоти. Три дози 100, 200 і 400 мкл/кг вводили тваринам шляхом внутрішньошлункової інтубації впродовж 10 діб. Кров збирали на одинадцятий день шляхом прямої пункції та швидко вирізали печінку. Гістопатологічні дослідження тварин порівнювали з тваринами в групі бутильованого гідроксилтолуолу. Автори повідомили, що всі випробувані дози олії *Zataria multiflora* здатні поглинати радикал ($p < 0,05$), а також не було жодних змін у ферментах тесту функції печінки або змін у гістопатології печінки. Результати показали, що ефірна олія *Zataria multiflora* може бути використана людиною та харчовій промисловості [5; 26].

Протизапальні властивості. Запалення — це природна захисна відповідь організму, яка виникає у відповідь на інфекційне ураження або пошкодження тканин. Його основна функція полягає в нейтралізації патогенних мікроорганізмів, чужорідних клітин і виведенні пошкоджених чи загнаних клітин власного організму. Запальна реакція індукує підвищення проникності ендотеліальних клітин вистилання та приплив лейкоцитів крові в інтерстицій, окислювальний вибух і вивільнення цитокінів, як-от інтерлейкіни та чинник некрозу пухлини- α . Він також стимулює активність низки ферментів (оксигенази, синтази оксиду азоту, пероксидази та ін.), а також метаболізм арахідонової кислоти. Останні дослідження L. Kaïrey та співавт. свідчать про ефективне застосування ефірних олій у клінічній практиці для терапії запальних станів, зокрема ревматизму, артриту та алергічних реакцій. Зокрема, ефірна олія чайного дерева (*Melaleuca alternifolia*) демонструє виражену протизапальну дію,

що пов'язують із вмістом α -терпінолену — основного активного компонента. Механізм дії ефірних олій полягає у зниженні синтезу медіаторів запалення або пригніченні вивільнення гістаміну. Іншим прикладом є геранієва олія, у складі якої ліналоол і ліналілацетат виявляють протинабрякову активність у моделях, викликаних карагеном у лабораторних тварин [6].

Протизапальну дію ефірних олій можна пояснити не тільки їхньою антиоксидантною активністю, але й їхньою взаємодією з сигнальними каскадами, що включають цитокіни та регуляторні чинники транскрипції, а також з експресією прозапальних генів. Отже, ефірні олії — це новий варіант у лікуванні запальних захворювань.

Крім того, вони містять фенольні сполуки, які можуть поглинатися через органи дихання (інгаляція), через шкіру (місцево) або за перорального введення. Рідше вони вводяться трансмукозально через пряму кишку або піхву. Рослинні ефірні олії містять ліпофільні леткі речовини, які вільно проникають через клітинні мембрани. Після поглинання їх хімічна різноманітність, низька молекулярна маса та структура допомагають їм виробляти широкий спектр активності завдяки багатьох шляхам, механізмам та фармакологічним мішеням [27].

Численні докази підтверджують вплив запахів на мозок і емоції людини. Молекули ефірної олії мають унікальну кваліфікацію, щоб впливати на настрій, пильність, стрес, занепокоєння та виконання завдань через їх прямиий зв'язок із областями мозку, залученими до емоцій та пізнання, особливо лімбічної системи [27].

Алелопатична активність. Відповідно до Міжнародного товариства алелопатії, алелопатія була визначена в 1996 р. як «наука, яка вивчає будь-який процес за участю вторинних метаболітів, що виробляються рослинами, водоростями, бактеріями та грибами, що впливає на ріст і розвиток сільськогосподарських і біологічних систем». Алелопатичні ефекти виникають внаслідок утворення вторинних метаболітів — сполук, які синтезуються рослинами та мікроорганізмами як захисна відповідь

на вплив навколишнього середовища. Ці речовини, які беруть участь у взаємодії між організмами, отримали назву алелохімікати [27].

Леткі ефірні олії та їхні окремі компоненти активно вивчаються як перспективні засоби боротьби з бур'янами та шкідниками. Їх розглядають немов потенційне джерело біологічно активних молекул, які можуть знайти широке застосування у сільському господарстві. Терпеноїди, які входять до складу цих олій, відіграють ключову роль у природному захисті багатьох організмів і водночас залишаються малодослідженим, але багатообіцяльним ресурсом для аграрного сектору. Багато алелохімічних сполук із вираженою фітотоксичною активністю формуються за участі біосинтетичних шляхів терпеноїдної природи. Дослідження підтверджують, що ефірні олії можуть чинити значний фітотоксичний вплив. Зокрема, вивчали алелопатичну дію ефірної олії чайного дерева (*Melaleuca alternifolia*) у контексті її впливу на *Trichoderma harzianum* — грибовий контамінант, що викликає значні втрати за вирощування грибів роду *Pleurotus*. Результати *in vitro* досліджень свідчать, що ця ефірна олія ефективно пригнічує розвиток *T. harzianum* за рахунок своєї алелопатичної активності [28; 29].

У працях С. Fernandes, A. Dias, J. Santos, I. da Silva, та M. Miranda повідомляється про хімічний склад, алелопатичну та протигрибкову дію ефірних олій, екстрагованих із сухих листків *Calyptanthus concinna* (Cc-EO), та його чистого основного компонента елеміцину. Їхню протигрибкову активність визначали завдяки методу дискової дифузії [7]. Алелопатичний ефект оцінювали, вивчаючи пригнічення проростання та росту насіння *Lactuca sativa* (салат латук). Хімічний склад Cc-EO виявляли за допомогою аналізів GC-MS та GC-FID. Основними компонентами Cc-EO були елеміцин (60,5%), α -кадиол (9,0%) і каріофіленоксид (8,3%). Cc-EO та елеміцин аналізували *in vitro* проти 17 грибів (*Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. nomius*, *Penicillium digitatum*, *P. expansum*, *Sclerotinia sclerotiorum*,

S. rolfisii, *S. minor*, *Fusarium graminearum*, *Myrothecium verrucaria*, *Corynespora cassicola*, *Erwinia psidii*, *Colletotrichum musae*, *Alternaria carthami*, *Rhizoctonia solani*, *Rhizopus stolonifer*, *Macrophomina phaseolina*). Концентрація Cc-EO (0,4 мг/мл) пригнічувала 100% ріст міцелію семи штамів, що еквівалентно фунгіциду флуазинаму, який використовувався як позитивний контроль [7]. Елеміцин продемонстрував протигрибкову активність проти всіх грибів у всіх досліджуваних концентраціях (вище 50%). Сильний алелопатичний ефект був зафіксований для Cc-EO та елеміцину в дозі 0,28 мг/мл, з майже повним пригніченням проростання. Це дослідження вперше виявило сильну фунгіцидну та алелопатичну дію Cc-EO та елеміцину, що є важливим відкриттям для агрохімічної галузі [7].

Єгипетськими вченими R. Elghobashy, S. El-Darier, A. Atia та M. Zakaria було вивчено алелопатичний вплив ефірних олій та водних екстрактів *Rosmarinus officinalis* (розмарин) та *Thymus vulgaris* (чебрець) як джерело нових природних гербіцидних сполук для придушення двох видів бур'янів: *Chenopodium album* та *Echinochloa crus-galli*. Основними компонентами, виявленими в ефірній олії чебрецю, були тимол, о-цимен, каріофілен та гамма-терпінен. Результати показали, що ефірні олії чебрецю мали найбільш негативний вплив, пригнічуючи проростання бур'янів. Як ефірні олії розмарину, так і чебрецю мали загалом знижувальний вплив на параметри росту бур'янів. Ефірні олії розмарину та чебрецю мають алелопатичний потенціал і повинні оцінюватися як алелопатичні агенти, що використовуються для боротьби з бур'янами [30].

З огляду на те, що тривале застосування синтетичних гербіцидів становить загрозу для екологічної рівноваги та стійкості агровиробництва, ефірні олії з алелопатичним потенціалом розглядаються як перспективна альтернатива. Їх використання може сприяти створенню безпечних для довкілля, біологічно розкладаних і нетоксичних речовин, здатних ефективно замінити хімічні засоби захисту рослин.

ВИСНОВКИ

Опрацьований значний обсяг літературних джерел дав змогу висвітлити найперспективніші напрями використання та наведення сучасних досліджень та результатів оцінки ефективності застосування ефірних олій. Сучасні досягнення, що здійснюються науковцями з усього світу, в галузі дослідження щодо використання та дії деяких компонентів ефіроолійних рослин, свідчать про зростаючий інтерес до природних джерел біологічно активних речовин. Рослинні ефірні олії та інші фітокомпоненти є засобами не лише народної чи тра-

диційної медицини, а й фармакопейними засобами, офіційними засобами гуманної і ветеринарної медицини. Результати досліджень підтверджують високу ефективність цих сполук у медичній, фармацевтичній, косметичній та аграрній сферах. Особлива увага приділяється розкриттю механізмів їх дії на рівні клітин і молекул, а також їх впливу на патогени, запальні реакції й окислювальні процеси. Крім того, науковці розробляють безпечні для довкілля біопрепарати на основі аеллохімічних речовин, які можуть замінити традиційні синтетичні засоби.

ЛІТЕРАТУРА

1. Глушенко, Л. А., & Приведенюк, Н. В. (2023). Перспективи вирощування лікарських, ефіроолійних і пряноароматичних культур в умовах України. *Збалансоване природокористування*, (4), 41–49. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2023.292734>.
2. Udourioh, G. A., Bazza, B. M., Pilani, M. P., & Solomon, M. M. (2025). Therapeutic characteristics of essential oils: historical and scientific considerations. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 29(2), 569–579. DOI: <https://doi.org/10.4314/jasem.v29i2.28>.
3. Johnson, S. A., Rodriguez, D., & Allred, K. (2020). A systematic review of essential oils and the endocannabinoid system: a connection worthy of further exploration. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 1, 8035301. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8035301>.
4. Sher, A., Andrade, D., Rezende, V., Aoyanagi, M., Franco, B., Kamimura, E., & Oliveira, C. (2022). Essential oils as potential tools to control *Listeria monocytogenes* in foods. *Food Science and Engineering*, 3(2), 184–193. DOI: <http://dx.doi.org/10.37256/fse.3220221769>.
5. Nazari, D., Badi, H. N., Mehrafarin, A., Taj-abadi, F., & Soltanipour, M. (2024). Expression of the changes in essential oil components of Shirazi thyme (*Zataria multiflora* Boiss.) as affected by various drying methods. *Industrial Crops and Products*, 220, 119222. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119222>.
6. Kairey, L., Agnew, T., Bowles, E.J., Barkla, B.J., Wardle, J., & Lauche, R. (2023). Efficacy and safety of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil for human health. A systematic review of randomized controlled trials. *Frontiers in pharmacology*, 14, 1116077. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1116077>.
7. Fernandes, C. C., Dias, A. L., Santos, J. G. D., da Silva, I. J., & Miranda, M. L. (2024). Antifungal and allelopathic effects of essential oil from *Calyptanthus concinna* dc. Dried leaves and of its major constituent elemicin. *Agronomy*, 14(7), 1527. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14071527>.
8. De Sousa, D. P., Damasceno, R. O. S., Amorati, R., Elshabrawy, H. A., de Castro, R. D., Bezerra, D. P., ... Lima, T. C. (2023). Essential oils: Chemistry and pharmacological activities. *Biomolecules*, 13(7), 1144. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom13071144>.
9. Bolouri, P., Salami, R., Kouhi, S., Kordi, M., Asgari Lajayer, B., Hadian, J., & Astatkie, T. (2022). Applications of essential oils and plant extracts in different industries. *Molecules*, 27(24), 8999. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27248999>.
10. Sadgrove, N. J., Padilla-González, G. F., & Phumthum, M. (2022). Fundamental chemistry of essential oils and volatile organic compounds, methods of analysis and authentication. *Plants*, 11(6), 789. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11060789>.
11. Crișan, I., Ona, A., Vârban, D., Muntean, L., Vârban, R., Stoie, T., ... Morea, A. (2023). Current trends for lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) crops and products with emphasis on essential oil quality. *Plants*, 12(2), 357. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12020357>.
12. Siddique, A. B., Ahsan, H., Shahid, M., Aslam, B., Nawaz, Z., Hussain, R., ... Li, K. (2025). Preparation and characterization of essential oil from lavender spica plant and its antimicrobial activity against *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. *Microbial Pathogenesis*, 198, 107157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2024.107157>.
13. Свиденко, Л. В., Глушенко, Л. А., Вергун, О. М., Гудзь, Н. І., & Марковська, О. Є. (2022). Оцінка впливу погодних умов на господарсько-цінні ознаки *Lavandula angustifolia* L. в умовах Херсонської обл. *Агроекологічний журнал*, (3), 84–93. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266413>.
14. Al-Khayri, J. M., Banadka, A., Nandhini, M., Nagella, P., Al-Mssallem, M. Q., & Alessa F. M. (2023). Essential oil from *Coriandrum sativum*: A review on its phytochemistry and biological activity. *Molecules*, 28(2), 696. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28020696>.
15. Talebi, S. M., Naser, A., & Ghorbanpour, M. (2024). Chemical composition and antimicrobial activity of

- the essential oils in different populations of *Coriandrum sativum* L. (coriander) from Iran and Iraq. *Food Science & Nutrition*, 12(6), 3872–3882. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.4047>.
16. Hudz, N., Kobylinska, L., Pokajewicz, K., Horčinová Sedláčková, V., Fedin, R., ... Lipok, J. (2023). *Mentha piperita*: Essential oil and extracts, their biological activities, and perspectives on the development of new medicinal and cosmetic products. *Molecules*, 28(21), 7444. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28217444>.
 17. El Maimouni, M. A., El Amrani, S., Fadil, M., Menyiy, N., Bouslamti, R., Annemer, S., ... Lalami, A. (2024). Chemical Composition, Antioxidant Activity, and Multivariate Analysis of Four Moroccan Essential Oils: *Mentha piperita*, *Mentha pulegium*, *Thymus serpyllum*, and *Thymus zygis*. *The Scientific World Journal*, 1, 5552496. DOI: <https://doi.org/10.1155/tswj/5552496>.
 18. Jažo, Z., Glumac, M., Paštar, V., Bektić, S., Radan, M., & Carev, I. (2023). Chemical composition and biological activity of *Salvia officinalis* L. essential oil. *Plants*, 12(9), 1794. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12091794>.
 19. Mot, M. D., Gavrilas, S., Lupitu, A. I., Moisa, C., Chambre, D., Tit, D. M., ... Bungau, S. G. (2022). *Salvia officinalis* L. essential oil: Characterization, antioxidant properties, and the effects of aromatherapy in adult patients. *Antioxidants*, 11(5), 808. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox11050808>.
 20. Шевчук, О. В. Голосна, Л. М., Афанасьєва, О. Т., Заславський, О. М., Приведенюк, Н. В., & Куцук, Т. П. (2021). Вплив рослинних екстрактів на *Alternaria tenuissima* (Kunze) Wiltshire в умовах *in vitro*. *Карантин і захист рослин*, 4(267), 23–28. DOI: <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2021.4.23-28>.
 21. Hou, T., Sana, S. S., Li, H., Xing, Y., Nanda, A., Netala, V. R., & Zhang, Z. (2022). Essential oils and its antibacterial, antifungal and anti-oxidant activity applications: A review. *Food Bioscience*, 47, 101716. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101716>.
 22. Kluj, A., Kosiada, M., Mularczyk, P., Robakowski, F., Spławski, J., Tylkowska, K., & Hadaś, E. (2023). The use of phytotherapy in the fight against parasitic diseases. *Annals of Parasitology*, 69(3/4), 91–102. DOI: <https://doi.org/10.17420/ap6903/4.513>.
 23. Ouedrhiri, W., Mechchate, H., Moja, S., Baudino, S., Saleh, A., Al Kamaly, ... Greche, H. (2022). Optimized antibacterial effects in a designed mixture of essential oils of *Myrtus communis*, *Artemisia herba-alba* and *Thymus serpyllum* for wide range of applications. *Foods*, 11(1), 132. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11010132>.
 24. Yamaguchi, T. (2022). Antibacterial effect of the combination of terpenoids. *Archives of Microbiology*, 204(8), 520. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03142-y>.
 25. Maurya, A., Prasad, J., Das, S., & Dwivedy, A. K. (2021). Essential oils and their application in food safety. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 20(5), 653420. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.653420>.
 26. Tohidi-Nejad, Z., Khajoei-Nejad, G., Tohidi-Nejad, E., & Ghanbari, J. (2024). Essential oil production, chemical composition, bioactive compounds, and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* as affected by harvesting season and drying conditions. *Drying Technology*, 42(7), 1208–1220. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2024.2332464>.
 27. Johnson, S. A., Rodriguez, D., & Allred, K. (2020). A systematic review of essential oils and the endocannabinoid system: A connection that deserves further investigation. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 8035301. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8035301>.
 28. Chandrawanshi, N. K., & Tandia, D. K. (2024). Determination of Antimicrobial Potency of some Polar Solvent Extracts of Polypore Mushrooms. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 17(12), 5689–5696. DOI: <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2024.00866>.
 29. Yang, X., Li, T., Liu, Y., Gu, Y., Li, J., Wang, C., ... Cheng, F. (2024). *Bacillus* sp. alone or combined with salicylic acid inhibited *Trichoderma* spp. infection on harvested white *Hypsizygus marmoreus*. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1324833. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1324833>.
 30. Elghobashy, R. M., El-Darier, S. M., Atia, A. M., & Zakaria, M. (2024). Allelopathic potential of aqueous extracts and essential oils of *Rosmarinus officinalis* L. and *Thymus vulgaris* L. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(1), 700–715. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01576-x>.

Стаття надійшла до редакції журналу 22.06.2025

ЕКОЛОГІЧНА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОБНИХ ПРЕПАРАТІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ЯБЛУНІ ПРОТИ ПОПЕЛИЦЬ

М.В. Гунчак¹, В.І. Пасічняк², П.М. Маменко³, О.Ю. Колодяжний³

¹Чернівецький регіональний центр державної установи
«Інститут охорони ґрунтів України» (м. Чернівці, Україна)
e-mail: chernivtsy_grunt@ukr.net; ORCID: 0000-0002-3521-8531

²Південно-Західний міжрегіональний центр державної установи
«Інститут охорони ґрунтів України» (с. Агрономічне, Вінницька обл., Україна)
e-mail: vinrodurchist@ukr.net; ORCID: 0000-0002-4144-261X

³Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: p_tamlenko@ukr.net; ORCID: 0009-0001-9945-8462
e-mail: alodua2@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5359-1738

Вивчено показники економічної ефективності різних мікробних препаратів для захисту яблуні від зеленої та сірої яблуневих попелиць у 2021–2023 рр. в умовах Західного Лісостепу України. Всі досліджувані біологічні препарати продемонстрували високі показники умовно чистого доходу та рентабельності. Найвищу економічну ефективність отримали за застосування біоінсектициду Бітоксикацілін БТ, р. у нормі 5,0 л/га: 4473,0 грн/га умовно чистого доходу та 244,8% рентабельності захисних заходів. Найнижчий умовно чистий дохід серед застосованих біопрепаратів мали від внесення препарату Метаризин БТ, р. у нормі 4,0 л/га — 1125,0 грн/га, а найнижчу рентабельність отримали від застосування Боверину БТ, р. у нормі 20,0 л/га — 28,4%. Використання Актوفіту БТ, р. забезпечило одержання від 2529,0 до 3177,0 грн/га доходу та показники рентабельності від 185,7 до 240,1%. Під час застосування суміші Боверину БТ, р. та Метаризину БТ, р. отримали умовно чистий дохід у сумі 3741,0 грн/га та рентабельність 225,5%. За обприскування Бітоксикаціліном БТ мали умовно чистий дохід 3177,0–4473,0 грн/га і рентабельність 240,1–244,8%, а за внесення Біоспектру БТ, р. — 2733,0–3663,0 грн/га й 61,2–210,9%. Найвищу ефективність дії проти зеленої яблуневої попелиці отримали за використання біопрепарату Біоспектр БТ, р. у нормі 10,0 л/га — 73,2%, а проти сірої яблуневої попелиці найефективнішою була дія суміші препаратів Боверин БТ, р. у нормі 10,0 л/га та Метаризин БТ, р. у нормі 3,0 л/га — 64,1%. Продуктивність дії біоінсектициду Актوفіт БТ, р. у нормі 2,0–4,0 л/га проти фітофагів становила 41,1–66,8%. Ефективність Боверину БТ, р. у нормі витрати 20,0 л/га сягала 44,7–61,2%. Під час дослідження Метаризину БТ, р. у нормі 4,0 л/га ефективність була 30,4–38,6%, що є найнижчим серед досліджуваних систем. Застосування біоінсектициду Бітоксикацілін БТ, р. у нормі 3,0–5,0 л/га зменшило чисельність фітофагів на 43,1–72,8%, а Біоспектру БТ, р. у нормі витрати 3,0–10,0 л/га — на 50,1–73,2%. Врожайність яблуневих насаджень за застосування досліджуваних препаратів становила 11,7–12,2 т/га. Вирощена плодова продукція є екологічно чистою, не містить залишків пестицидів, а внесення досліджуваних препаратів дає можливість не лише на високому рівні захистити яблуневі насадження від попелиць, але й не несе пестицидного навантаження на екосистему саду та навколишнє природне середовище.

Ключові слова: біологічний метод захисту, плодові насадження, фітофаги, економічний аналіз, урожайність.

ВСТУП

Плодові насадження є агроценозами, де з часом формується стабільний комплекс шкідників, які завдають шкоди культурам,

знижують їх продуктивність і часто призводять до передчасної загибелі дерев. Яблуневим насадженням чималих збитків завдають близько 180 видів шкідників, для яких характерні велика різноманітність видового складу, різні способи життя

й пошкодження, що вони завдають. Тому, захист плодових насаджень від шкідників є одним з основних елементів технології вирощування врожаю [1].

До переліку шкідників яблуні включається і значна кількість підряду попелиць (*Aphidinae*). Однак найпоширенішими в яблуневих насадженнях Західного Лісостепу України є зелена яблунева попелиця (*Aphis pomi* Deg.) та попелиця червоноголова або сіра яблунева попелиця (*Dysaphis devecta* Walk.).

Попелиця зелена яблунева (*Aphis pomi* Deg.) — це комаха з родини попелиць ряду рівнокрилих, яка пошкоджує яблуню, рідше — грушу. Личинки та імаго висмоктують сік із бруньок, що набрякають та що розпускаються, заселяють нижній бік листків, зелені пагони, іноді зав'язі. Пошкоджені листки скручуються і відмирають. Пагони затримуються в рості й викривляються. На сильно пошкоджених деревах плоди дрібнішають, на них часто розтріскується шкірочка.

Попелиця червоноголова яблунева або сіра яблунева (*Dysaphis devecta* Walk.) пошкоджує яблуню. Вона висисає сік з бруньок і листків, яке розпускається. Пошкоджені листки потовщуються, грубішають, загинаються всередину і набувають характерного вишнево-червоного, а іноді рожевого забарвлення. Такі листки засихають і опадають. За сильного розмноження попелиця пошкоджує й плоди, на яких утворюються червоні плями [1; 2].

Заселеність фітофагами в яблуневих насадженнях істотно впливає на економічні показники ведення садівництва. Адже ураження фітофагами знижують продуктивність насаджень, затримують дерева в рості, інколи призводять до втрати великої кількості врожаю або й до повного всихання дерев. Тоді товаровиробник не лише не отримає прибутку, а й матиме істотні збитки від ведення садівництва. Тому, питання захисту яблуневих насаджень від шкідників є актуальним та відіграє важливу роль під час ведення садівництва, а вартість захисних заходів є однією з найбільших скла-

дових собівартості вирощування плодової продукції [3].

Наразі відомо багато пестицидів хімічного походження, які ефективно застосовують проти попелиць, але ефективність дії біопрепаратів проти даних фітофагів вивчена недостатньо. Хоча, застосування препаратів біологічного походження буде мати низку переваг перед внесенням хімічних пестицидів: зменшення пестицидного навантаження на садовий агроєкоценоз, відсутність резистентності у шкідників, а також можливість одержання екологічно безпечної продукції, яка дозволяється і за дитячого харчування. З огляду на те, що чисельність зеленої та сірої яблуневих попелиць в умовах Західного Лісостепу України постійно зростає, досліджувалася ефективність використання препаратів біологічного походження саме проти даних фітофагів.

Мета досліджень — вивчення економічної ефективності внесення різних препаратів біологічного походження для захисту яблуні від зеленої та сірої яблуневих попелиць та підбір найефективніших із них для застосування в умовах Західного Лісостепу України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

О.І. Борзих та ін. [4] вказують, що за застосування хімічних засобів захисту рослин знищується корисна ентомофауна та виникає резистентність у шкідливих організмів до пестицидів хімічного походження. Тому важливим в умовах сьогодення є екологічне регулювання чисельності шкідливих організмів за максимального використання біологічних засобів, зниження кількості хімічних обробок, вдосконалення асортименту пестицидів.

В.М. Бровдій та А.А. Бунас із співавт. [5–7] зазначають, що препарати біологічного походження мають нижчу ефективність, ніж хімічні пестициди, але внаслідок їх безпеки для навколишнього природного середовища їх використання потребує детальнішого вивчення. Хоча, біологічні препарати, порівняно з хімічними пестицида-

ми, характеризуються більш уповільненою дією, але й мають метатоксичний ефект і за певних умов можуть спричинити епізоотії у комах. Недоліком є також те, що ефективність дії біопрепаратів може знижуватись внаслідок несприятливих погодних умов, зокрема дощів, низької температури повітря та ультрафіолетового випромінювання.

Система захисту рослин визначається своєрідністю економічних взаємозв'язків, а економічна ефективність використання захисних заходів залежить від ціни препаратів, норми їх внесення, ефективності дії, кількісних і якісних показників врожайності та багатьох інших показників. Висока вартість препаратів істотно впливає на економічні показники виробництва плодової продукції. Тому, необхідним є вибір не лише дієвої, але водночас і економічно доцільної системи захисту. Дослідження ефективності ведення садівництва дають можливість виявити шляхи зменшення собівартості вирощування плодової продукції та знайти механізми підвищення конкурентоспроможності її виробництва [8–10].

В.М. Жук та ін. [11] стверджують, що ефективність діяльності підприємств, які займаються вирощуванням плодової продукції залежить від структури насаджень, технології виробництва й зберігання плодів, впровадження інновацій, системи захисних заходів у садах, впливу погодних умов, якості ґрунту та низки інших чинників.

О.С. Тупчії, М.М. Ільчук [12; 13] зазначають, що оцінка економічної ефективності садівництва базується на використанні багатьох показників, але основним показником, що характеризує продуктивність усього процесу виробництва на сільськогосподарському підприємстві, є собівартість продукції.

Аналіз літературних джерел вказує на те, що проблему економічної ефективності застосування біопрепаратів за вирощування яблуневих насаджень досліджено не повною мірою. Тому, подальше вивчення цього питання дасть можливість здійснити аналіз показників економічної ефек-

тивності внесення мікробних препаратів для захисту яблуні від попелиць, а також визначити найефективніші з них для використання у системах захисту в умовах Західного Лісостепу України.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили в плодovому саду Української науково-дослідної станції карантину рослин Інституту захисту рослин НААН (с. Бояни, Чернівецької обл.) за загальноприйнятими методиками [14] на насадженнях яблуні 2014 р. садіння на сорту Айдаред на підщепі М-106. Схема садіння: 3×3 м. Система утримання ґрунту — під багаторічними травами.

Дослідна ділянка розміщена на ясносірому і сірому опідзоленому поверхнево-оглеєному середньосуглинковому ґрунті з низьким вмістом гумусу — 2,0% та слабкою реакцією ґрунтового розчину ($\text{pH}_{\text{сол.}} = 5,2$). Забезпеченість ґрунту рухомими сполуками фосфору середня (P_2O_5 — 78 мг/кг ґрунту), рухомими сполуками калію — середня (K_2O — 79 мг/кг ґрунту), азотом, що легко гідролізується — дуже низька (92 мг/кг ґрунту). Агроекологічна оцінка в балах сягає 35 із 100.

Фітосанітарний моніторинг проводили візуально та за допомогою феромонних пасток. Обліки поширення шкідників здійснювали за загальноприйнятими методиками [14] в фазі розвитку яблуні: набрякання бруньок, зелений конус, висування бутонів, відокремлення бутонів, рожевий бутон, цвітіння, кінець цвітіння, формування плодів, ріст плодів та дозрівання плодів.

Ефективність дії інсектицидів визначали за офіційними методиками через 2 та через 7 діб, а також розраховували за формулою (Е, %) [14]:

$$E = 100 \cdot (1 - (B \cdot a / A \cdot b)), \quad (1)$$

де Е — ефективність препарату у відсотках зниження чисельності шкідника; А — кількість живих особин на дослідній ділянці до обробки; В — кількість живих особин на дослідній ділянці після обробки; а — кіль-

кість живих особин на контролі до обробки; v — кількість живих особин на контролі після обробки.

Також під час досліджень було здійснено економічну оцінку різних біологічних препаратів, які застосовувались для захисту яблуні від зеленої та сірої яблуневих попелиць у 2021–2023 рр. Під час польових дослідів у кожному варіанті використовувалося по 10 облікових дерев (деревоповторність), площа дослідних ділянок — 0,01 га. Оцінку основних показників, що характеризують економічну ефективність систем захисту яблуні від попелиць, було проведено за загальноприйнятими методиками [14; 15].

Економічний аналіз застосування досліджуваних біопрепаратів для захисту яблуні від зеленої та сірої яблуневих попелиць в 2021–2023 рр. здійснювався згідно з такими показниками: вартість препаратів, грн/га; витрати, пов'язані з їх застосуванням, грн/га; урожайність, т/га; ціна реалізації 1 т плодів, грн; збережений урожай, т/га; вартість збереженого врожаю, грн/га. Однак основними показниками економічної ефективності застосування захисних заходів є умовно чистий дохід, грн/га та рентабельність, %. Також розраховували поріг окупності, який показує, як приріст урожаю потрібно отримати для покриття витрат на захисні заходи. Рівень урожайності рахували шляхом повного зважування всіх плодів. Під час досліджень враховували також показники на контролі (обприскування водою) та за обприскування хімічними еталонними препаратами.

Умовно чистий дохід від дії захисних заходів було визначено за формулою [15]:

$$\text{ЧД} = \text{Вз} - \text{Ез}, \quad (2)$$

де ЧД — умовно чистий дохід, грн/га; Вз — вартість збереженого врожаю, грн/га; Ез — витрати, пов'язані з одержанням збереженого врожаю, грн/га.

Вартість витрат, що пов'язані з одержанням збереженого врожаю обраховували як суму витрат на препарати та витрат на їх застосування [15]:

$$\text{Ез} = \text{Вт} + \text{Вв}, \quad (3)$$

де Вт — витрати на придбання біопрепаратів; Вв — витрати на внесення біопрепаратів.

Норму рентабельності захисних заходів визначали як процентне співвідношення умовно чистого доходу до затрат, пов'язаних з одержанням збереженого врожаю [15]:

$$\text{Р} = \text{ЧД} / \text{Ез} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Поріг окупності (П) виявляли за формулою [15]:

$$\text{П} = \text{Ез} / \text{Ц}, \quad (5)$$

де Ц — ціна врожаю, грн/т.

Статистичну обробку результатів досліджень здійснювали за загальноприйнятими методиками [16].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Під час досліджень було проведено економічну оцінку застосування п'яти препаратів біологічного походження для захисту яблуні від зеленої та сірої яблуневих попелиць у 2021–2023 рр.: Актофіт БТ (аверсектин С, 0,2%), к.е. у нормі 2,0, 3,0 та 4,0 л/га; Боверин БТ (гриби роду *Beauveria*, титр життєздатних клітин не нижче $3,0 \cdot 10^9$ КУО/см³), р. у нормі 20,0 л/га; Метаризин БТ (гриби роду *Metarhizium*, титр життєздатних клітин не нижче $2,0 \cdot 10^9$ КУО/см³), р. у нормі 4,0 л/га; суміш Боверину БТ (гриби роду *Beauveria*, титр життєздатних клітин не нижче $3,0 \cdot 10^9$ КУО/см³), р. у нормі 10,0 л/га та Метаризину БТ (гриби роду *Metarhizium*, титр життєздатних клітин не нижче $2,0 \cdot 10^9$ КУО/см³), р. у нормі 3,0 л/га; Бітоксикацілін БТ (життєздатні клітини *Bacillus thuringiensis* var. *thuringiensis* (серотип 1), титр не нижче $2,0 \cdot 10^9$ КУО/см³ і спорокристалічний комплекс із токсинами двох видів: β -екзотоксин і δ -ендотоксин), р. у нормі 3,0, 4,0 та 5,0 л/га; Біоспектр БТ (бактерії роду *Pseudomonas* із титром не нижче $5,0 \cdot 10^9$ КУО/см³), р. у нормі 3,0, 6,0 та 10,0 л/га. Як хімічний еталон використовували інсектицид Каліпсо 480 SC (тіакло-

прид), КС у нормі 0,3 л/га. Обприскування проводили тричі у фенофазі рожевий бутон, формування плодів та ріст плодів, коли плід мав розмір волоського горіха.

Ефективність біоінсектициду Актофит БТ, к.е. у нормі 2,0 л/га проти зеленої яблуневої попелиці у фенофазі рожевий бутон через 7 діб після обприскування становила 44,3%, у фенофазі формування плодів — 59,2% та у фенофазі ріст плодів (плід розміром волоського горіха) — 54,7%, а проти сірої яблуневої попелиці — 41,1%, 52,8 і 51,1%. Ефективність препарату у нормі 3,0 л/га проти зеленої яблуневої попелиці сягала 51,6%, 61,3 і 58,7%, а проти сірої яблуневої попелиці — 41,8%, 53,4 й 48,9%. Внесення Актофиту БТ, к.е. у нормі 4,0 л/га забезпечило ефективність проти зеленої яблуневої попелиці 59,5%, 66,8 і 63,7% та проти сірої яблуневої попелиці — 44,4%, 56,8 й 50,6%.

Застосування біоінсектициду Боверин БТ, р. у нормі 20,0 л/га дало змогу отримати ефективність проти зеленої яблуневої попелиці на рівні 54,2%, 57,4 і 61,2%, а проти сірої яблуневої попелиці — 44,7%, 51,7 й 52,2%.

Біоінсектицид Метаризин БТ, р. у нормі 4,0 л/га показав найнижчу ефективність серед досліджуваних біопрепаратів: проти зеленої яблуневої попелиці — 30,4%, 35,8 і 38,6% та проти сірої яблуневої попелиці — 33,5%, 35,3 й 34,4%.

Також проведено обприскування сумішами біопрепаратів Боверин БТ, р. у нормі 10,0 л/га та Метаризин БТ, р. у нормі 3,0 л/га. В результаті досліджень виявлено, що суміш даних препаратів у нижчих концентраціях зафіксувала синергетичний ефект, адже ефективність здійснених заходів була вищою, ніж за застосування досліджуваних препаратів окремо. Технічна ефективність проти зеленої яблуневої попелиці становила 64,1%, 68,8 й 66,2%, а проти сірої яблуневої попелиці — 56,4%, 60,2 і 64,1%.

Використання біоінсектициду Бітоксисабацилін БТ, р. у нормі 3,0 л/га проти зеленої яблуневої попелиці дало змогу одержати ефективність 45,5%, 52,6 й 60,6%,

а проти сірої яблуневої попелиці — 43,1%; 46,7 і 55,0%. Дієвість препарату у нормі 4,0 л/га проти зеленої яблуневої попелиці сягала 49,1%, 59,8 і 68,3%, а проти сірої яблуневої попелиці — 46,4%, 48,3 й 58,7%. За внесення препарату у нормі 5,0 л/га отримали ефективність проти зеленої яблуневої попелиці 52,5% та 61,6 і 72,8%, а продуктивність проти сірої яблуневої попелиці була 49,2%, 50,6 й 60,0%.

Внесення біопрепарату Біоспектр БТ, р. у нормі 3,0 л/га забезпечило ефективність проти зеленої яблуневої попелиці на рівні 56,6%, 62,8 і 66,2%, а проти сірої яблуневої попелиці — 50,1%; 58,9 й 58,0%. Ефективність препарату у нормі 6,0 л/га становила 63,6%, 71,3 і 69,0% проти зеленої яблуневої попелиці та 53,2%, 60,7 й 58,9% проти сірої яблуневої попелиці. За застосування препарату у нормі 10,0 л/га отримали продуктивність проти зеленої яблуневої попелиці 64,6%, 69,8 і 73,2%, а проти сірої яблуневої попелиці — 56,4%; 59,6 й 61,3%.

Найвищу ефективність дії проти зеленої яблуневої попелиці одержали за застосування препарату Біоспектр БТ, р. у нормі 10,0 л/га — 73,2%, а проти сірої яблуневої попелиці найкраще спрацювала суміш препаратів Боверин БТ, р. у нормі 10,0 л/га та Метаризин БТ, р. у нормі 3,0 л/га — 64,1%.

Позитивний вплив інсектициду Каліпсо 480 SC, КС у нормі 0,3 л/га проти зеленої яблуневої попелиці сягав 84,0%, 88,4 і 91,0%, а проти сірої яблуневої попелиці — 87,5%, 88,9 й 91,2%.

Урожайність плодів яблуні за застосування біоінсектициду Актофит БТ, к.е. у нормі 2,0 л/га була 11,8 т/га, у нормі 3,0 л/га — 11,9 т/га та у нормі 4,0 л/га — 11,9 т/га. За внесення препарату Боверин БТ, р. у нормі 20,0 л/га врожайність яблуні становила 12,2 т/га. Врожайність під час внесення Метаризину БТ, р. у нормі 4,0 л/га була на рівні 11,7 т/га. За обприскування сумішшю біопрепаратів Боверин БТ, р. у нормі 10,0 л/га та Метаризин БТ, р. у нормі 3,0 л/га урожайність яблуневих насаджень сягала 12,0 т/га. Внесення Бітоксисабациліну БТ у нормі 3,0 л/га забезпечило врожайність на рівні 11,9 т/га,

Економічна ефективність застосованих біопрепаратів для захисту яблуні від зеленої та сірої яблуневої попелиці в умовах Західного Лісостепу України, 2021 – 2023 рр.

Назва показника	Конт- роль	Каліпсо, 0,3 л/га	Актофит БТ, к. е., л/га			Боверин БТ, р., 20,0 л/га	Мета- ризин БТ, р., 4,0 л/га	Боверин БТ, 10,0 л/га + Метаризин, 3,0 л/га	Бітоксибацилін БТ, р., л/га				Біоспектр БТ, р., л/га
			2,0	3,0	4,0				3,0	4,0	5,0	6,0	
Вартість препаратів, грн/га	—	1935,0	504,0	756,0	1008,0	5040,0	1008,0	1092,0	756,0	1008,0	1260,0	1170,0	2340,0
Витрати, пов'яз. з їх застос., грн/га	—	567,0	567,0	567,0	567,0	567,0	567,0	567,0	567,0	567,0	567,0	567,0	567,0
Урожайність, т/га	11,4	12,4	11,8	11,9	11,9	12,2	11,7	12,0	11,9	12,0	12,1	12,0	12,2
Ціна реалізації 1 т плодів, грн	8000	9000,0	9000,0	9000,0	9000,0	9000,0	9000,0	9000,0	9000,0	9000,0	9000,0	9000,0	9000,0
Збережений урожай, т/га	—	1,0	0,4	0,5	0,5	0,8	0,3	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8
Вартість збереженого врожаю, грн/га	—	9000,0	3600,0	4500,0	4500,0	7200,0	2700,0	5400,0	4500,0	5400,0	6300,0	5400,0	7200,0
Умовно чистий дохід, грн/га	—	6498,0	2529,0	3177,0	2925,0	1593,0	1125,0	3741,0	3177,0	3825,0	4473,0	3663,0	2733,0
Рентабельність, %	—	259,7	236,1	240,1	185,7	28,4	71,4	225,5	240,1	242,9	244,8	210,9	61,2
Поріг окупності, т/га	—	0,28	0,12	0,15	0,18	0,62	0,18	0,18	0,15	0,18	0,20	0,19	0,32
													0,50

у нормі 4,0 л/га — 12,0 т/га, а у нормі 5,0 л/га — 12,1 т/га. Від застосування біопрепарату Біоспектр БТ, к.е. у нормі 3,0 л/га отримали врожайність плодів яблуні на рівні 12,0 т/га, у нормі 6,0 л/га — 12,1 т/га та у нормі 10,0 л/га — 12,2 т/га. За використання інсектициду Каліпсо 480 SC, КС у нормі 0,3 л/га врожайність становила 12,4 т/га.

Розрахунок економічної ефективності досліджуваних біопрепаратів проти зеленої та сірої яблуневих попелиць в умовах Західного Лісостепу України наведено в *табл. Отже* встановлено, що всі досліджувані препарати біологічного походження показали високі показники умовно чистого доходу від застосованих заходів, рентабельності захисних заходів та порогу окупності.

Найбільший умовно чистий дохід серед біологічних препаратів отримали від триразового застосування біоінсектициду Бітоксубацилін БТ, р. у нормі 5,0 л/га — 4473,0 грн/га, рентабельність захисних заходів за його внесення також була найвищою — 244,8%, що зумовлено високим рівнем урожайності, за невисокої вартості препарату та витрат на його застосування. Поріг окупності засвідчив, що для покриття витрат на внесення препарату, необхідний приріст урожаю 0,20 т/га, за умови, що врожайність за застосування цього препарату була на 0,7 т/га більше контролю. Під час використання біопрепарату Бітоксубацилін БТ, р. у нормі 4,0 л/га отримали умовно чистий дохід у розмірі 3825,0 грн/га, за рентабельності 242,9% та порогу окупності 0,18 т/га, а за застосування біоінсектициду у нормі 3,0 л/га умовно чистий дохід становив 3177,0 грн/га, рентабельність — 240,1%, а поріг окупності — 0,15 т/га.

Під час внесення препарату Біоспектр БТ, р. у нормі 3,0 л/га одержали умовно чистий дохід у розмірі 3663,0 грн/га, рентабельність — 210,9% та поріг окупності — 0,19 т/га. Використання цього біопрепарату у нормі 6,0 л/га забезпечило умовно чистий дохід у розмірі 3393,0 грн/га, рентабельність — 116,7% та поріг окупності — 0,32 т/га. Застосування препарату у нормі

10,0 л/га дало можливість отримати умовно чистий дохід у розмірі 2733,0 грн/га, рентабельність 61,2% та поріг окупності 0,50 т/га.

Внесення біоінсектициду Актотіт БТ, р. у нормі 2,0 л/га гарантувало одержання умовно чистого доходу в сумі 2529,0 грн/га, рентабельність — 236,1% та поріг окупності — 0,12 т/га. За застосування даного біопрепарату у нормі 3,0 л/га отримали умовно чистий дохід у розмірі 3177,0 грн/га, рентабельність — 240,1% та поріг окупності — 0,15 т/га. Умовно чистий дохід за обприскування Актотітом БТ, р. у нормі 4,0 л/га становив 2925,0 грн/га, рентабельність — 185,7%, а поріг окупності — 0,18 т/га.

За внесення суміші біопрепаратів Боверин БТ, р. та Метаризин БТ, р. мали умовно чистий дохід у сумі 3741,0 грн/га, за рентабельності — 225,5%, за порогу окупності — 0,18 т/га.

Застосування біопрепарату Боверин БТ, р. у нормі 20,0 л/га забезпечило умовно чистий дохід у розмірі 1593,0 грн/га. Рентабельність від використання препарату становила 28,4%, яка була найнижчою серед досліджуваних препаратів, що зумовлено високою нормою витрат препарату і відповідно вищою його вартістю. Поріг окупності внесення цього препарату — 0,62 т/га.

Найнижчий умовно чистий дохід серед застосованих проти попелиць препаратів отримали від Метаризину БТ, р. — 1125,0 грн/га, за рентабельності — 71,4%; порогу окупності — 0,18 т/га. Це зумовлено низькою ефективністю препарату, що вплинуло на рівень урожайності.

За застосування інсектициду Каліпсо 480 SC, КС у нормі 0,3 л/га, який використовувався як еталонний, одержали показник умовно чистого доходу від цих заходів на рівні 6498,0 грн/га. Рентабельність захисних заходів становила 259,7%, а поріг окупності — 0,28 т/га.

ВИСНОВКИ

Усі досліджувані біологічні препарати, які застосовувались для захисту яблуні від

зеленої та сірої яблуневих попелиць у 2021–2023 рр. показали високі показники умовно чистого доходу (1125,0–4473,0 грн/га) та рентабельності (28,4–244,8%). Найефективнішим з економічної точки зору у 2021–2023 рр. було застосування біоінсектициду Бітоксисабацилін БТ, р. у нормі 5,0 л/га, що дало змогу отримати 4473,0 грн/га умовно чистого доходу та рівень рентабельності захисних заходів 244,8%. Найнижчий умовно чистий дохід серед використаних препаратів одержали від внесення біоінсектициду Метаризин БТ, р. у нормі 4,0 л/га — 1125,0 грн/га, а найнижчу рентабельність

мали від Боверину БТ, р. у нормі 20,0 л/га — 28,4%. Застосування досліджуваних біологічних препаратів допомогло на найвищому рівні забезпечити захист яблуні від зеленої та сірої яблуневих попелиць, що у підсумку гарантувало отримання високого рівня врожайності яблуневих насаджень (11,7–12,2 т/га). Однак найбільшою перевагою застосування досліджуваних біопрепаратів є те, що їх внесення не завдає шкоди навколишньому природному середовищу, бо вирощена плодова продукція є екологічно чистою та не містить залишкових кількостей пестицидів.

ЛІТЕРАТУРА

- Лісовий, М. П. (Ред.). (1999). *Довідник із захисту рослин*. Київ: Урожай.
- Гунчак, М. В. (2024). Ефективність застосування біологічних систем захисту яблуні проти зеленої та сірої яблуневих попелиць в умовах Західного Лісостепу України. *Фітосанітарна безпека*, 70, 92–103. DOI: <https://doi.org/10.36495/PHSS.2024.70.92103>.
- Гунчак, М. В. (2018). Економічна ефективність різних систем захисту яблуні (*Malus domestica* Borkh.) у Придністров'ї. *Садівництво*, 73, 74–81.
- Борзих, О. І., Бублик, Л. І., Гунчак, М. В., Гаврилюк, Л. Л., Шевчук, О. В., & Власова, О. Г. (2022). Екотоксикологічні параметри застосування біопестицидів, розробка та адаптація біологічних систем захисту яблуні від шкідників та хвороб до ґрунтоокліматичних умов та фітосанітарного стану агроценозу. *Фітосанітарна безпека*, 68, 3–26. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.3-26>.
- Бровдій, В. М., Гулий, В. В., & Федоренко, В. П. (2003). *Біологічний захист рослин*. Київ: Світ.
- Бунас, А. А., Ткач, Є. Д., & Дворецький, В. В. (2024). Біопрепарати в Україні та світі: сучасні тренди та перспективи. *Агроекологічний журнал*, 4, 132–140. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2024.317163>.
- Бунас, А. А., Шерстобоева, О. В., & Крижанівський, А. Б. (2025). Екологічні аспекти застосування *Bacillus Thuringiensis* для захисту яблуні від фітофагів. *Агроекологічний журнал*, 1, 138–145. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2025.327103>.
- Сніговий, В. С., & Матвієць О. М. (2013). Економічна ефективність вирощування інтенсивних насаджень яблуні за різних режимів краплинного зрошення в умовах низинної зони Закарпаття. *Меліорація і водне господарство*, 100, 44–51.
- Черемісіна, С. Г., & Сало, І. А. (2023). Моніторинг сукупного рівня економічної ефективності сільськогосподарських підприємств України: фактори впливу та перспективи зростання. *Економіка АПК*, 30(2), 24–37. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202302024>.
- Попроцька, В. М., Мостов'як, С. М., & Мостов'як, І. І. (2021). Економічна оцінка вирощування суніці садової за різних систем захисту рослин у Правобережному Лісостепу України. *Збалансоване природокористування*, 4, 107–116. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2021.253094>.
- Жук, В. М., Барабаш, Л. О., Кривошапка, В. А., & Болдижева, Л. Д. (2022). Ефективність вирощування перспективних сортів яблуні селекції Інституту садівництва НААН в інтенсивних насадженнях. *Вісник аграрної науки*, 2, 34–41. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202202-05>.
- Тупцій, О. С. (2013). Методичні основи дослідження економічної ефективності виробництва продукції садівництва. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*, 3, 106–110.
- Льчук, М. М., Нікітченко, С. О., Ситник, О. О., & Павленко, В. В. (2023). Диверсифікація підприємницької діяльності в аграрному секторі економіки України у повоєнний період. *Економіка АПК*, 30(4), 25–35. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202304025>.
- Трибель, С. О. (Ред.). (2001). *Методики випробування і застосування пестицидів*. Київ: Світ.
- Шестопад, О. М. (Ред.). (2006). *Методика економічної та енергетичної оцінки типів насаджень, сортів, інвестицій в основний капітал, інновацій та результатів технологічних досліджень у садівництві*. Київ: Світ.
- Valli, V., Stahl, F., & Feit, E. (2017). *Field Experiments*. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-05542-8_3-1.

Стаття надійшла до редакції журналу 05.07.2025

ВПЛИВ НОРМ УДОБРЕННЯ НА АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОГО ҐРУНТУ ПІД КУЛЬТУРАМИ 5-ПІЛЬНОЇ СІВОЗМІНИ

Р.П. Паламарчук¹, І.М. Городиська², І.В. Безноско²

¹Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України» (м. Київ, Україна)
e-mail: prp777@ukr.net; ORCID: 0000-0002-5965-1305

²Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: anni0479@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1580-3450
e-mail: beznoskoirina@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2217-5165

Дослідження проведено на дерново-підзолистому ґрунті у стаціонарному досліді, закладеному в 2015 р. (с. Христинівка Народицького р-ну Житомирської обл.), територія якого відноситься до 2-ї зони радіоактивного забруднення. Технологія вирощування сільськогосподарських культур у досліді загальноприйнята і рекомендована для зони проведення досліджень. На передбачених схемою досліджень варіантах застосовували хімічні засоби захисту рослин для вирощування конкурентоспроможної товарної продукції. Результати досліджень, проведених у стаціонарному польовому досліді впродовж 2015–2019 рр., переконливо свідчать про те, що внесення доломітового борошна в дозі 5 т/га, внесення перегною великої рогатої худоби у дозі 8 т/га у 2014 р. та використані норми удобрення під сільськогосподарські культури 5-пільної зерно-просапної сівозміни (овес – люпин – тритикале яре – буряки кормові – кукурудза на зерно) в період виконання досліджень і фактор сівозміни мали позитивний ефект на зниження щільності забруднення дерново-підзолистого ґрунту цезієм-137 та стронцієм-90. Зокрема за 1-ї норми добрив щільність ¹³⁷Cs була найнижчою і становила 881,6–916,1 кБк/м² залежно від досліджуваних культур сівозміни, тоді як щільність ⁹⁰Sr за такої самої норми добрив була на рівні від 15,8 до 17,0 кБк/м² за більшої концентрації радіонуклідів на контролі. Вміст рухомих форм свинцю у дерново-підзолистому ґрунті знаходився в межах від 0,75 до 0,86 мг/кг, кадмію від 0,028 до 0,046 мг/кг ґрунту за більшого накопичення цих елементів у посівах кукурудзи, тоді як вміст рухомих форм ртуті сягав від 0,0027 до 0,0034 мг/кг за найменшого нагромадження під посівами кукурудзи в 5-пільній сівозміні — 0,0028–0,0032 мг/кг ґрунту.

Ключові слова: радіонукліди, важкі метали, інтенсифікація, агроценоз, екологічна безпека, землеробство.

ВСТУП

Аварія на Чорнобильській атомній електростанції спричинила масштабні екологічні, соціальні та економічні наслідки, зокрема негативно вплинула й на агропромисловий комплекс України. За своїми масштабами і рівнем радіоекологічної небезпеки аварія не має аналогів в історії людства. Радіоактивному забрудненню піддалася понад 145 тис. км² території України, а щільність забруднення радіонуклідами ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr у низці регіонів перевищує порогові рівні — 37 кБк/м² [1; 2].

За офіційними даними Міністерства аграрної політики та продовольства Украї-

ни, площі сільськогосподарських угідь із щільністю забруднення ¹³⁷Cs понад 185 кБк/м² становили 126,1 тис. га, з яких близько 100 тис. га перевищували рівень забруднення 5 Кі/км², що є критичним для ведення сільського господарства.

Загалом до зон радіоактивного забруднення було віднесено території 74 адміністративних районів у межах 12 областей. Станом на сьогодні на цих територіях проживає близько 2,2 млн осіб, з яких понад 1,6 млн — у зоні посиленого радіоекологічного контролю. Відповідно до чинного законодавства України, сільськогосподарські угіддя, рівень забруднення яких перевищує 555 кБк/м² (¹³⁷Cs, що еквівалентно

15 Кі/км²), підлягають виведенню з активного землекористування як такі, що становлять потенційну загрозу для продовольчої безпеки та здоров'я населення [3; 4].

Найбільшого радіоекологічного навантаження внаслідок Чорнобильської аварії зазнала поліська природно-географічна зона України, зокрема територія Житомирської обл. Радіоактивному забрудненню на Житомирщині було піддано понад 617 тис. га сільськогосподарських угідь, з яких 438 тис. га становила рілля. Найвищі концентрації радіонуклідів, зокрема ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr, були зафіксовані у північних адміністративних районах області — Народицькому, Овруцькому, а також у частині Лугинського й Коростенського р-нів [5; 6].

У межах 30-кілометрової зони від Чорнобильської АЕС, яка характеризується критичним рівнем радіоактивного забруднення, з господарського обігу було вилучено 57 тис. га сільськогосподарських угідь. Із цієї площі рілля становила 32,9 тис. га, а присадибні ділянки — близько 2,2 тис. га. Крім того, на територіях із посиленням режимом радіаційного контролю, що охоплюють Житомирську та Київську обл., було вилучено з активного землекористування загалом 180 тис. га сільськогосподарських земель, зокрема 135,2 тис. га ріллі.

Ці показники свідчать про істотні втрати аграрного потенціалу регіону, зниження продуктивності земельних ресурсів та необхідність впровадження спеціальних заходів радіоекологічного моніторингу й відновлювального землекористування.

У сучасних умовах надзвичайно важливого значення набуває комплексний підхід до оцінки агроєкологічного стану земель сільськогосподарського призначення, які з різних причин — зокрема внаслідок радіоактивного чи хімічного забруднення — були вилучені з активного землекористування. Така оцінка є необхідною передумовою для розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо безпечного, екологічно доцільного повернення цих земель у сільськогосподарське використання [3; 4; 7; 8].

У цьому контексті особливо актуальним постає дослідження впливу різних норм удобрення сільськогосподарських культур у короткочасній сівозміні на динаміку забруднення ґрунту та продукції рослинництва політантами в умовах Полісся України. Встановлення екологічної доцільності таких агротехнологій сприятиме формуванню ефективної стратегії землекористування на радіоактивно забруднених територіях, а також підвищенню екологічної безпеки агроєкосистем регіону.

Метою досліджень є встановлення впливу норм удобрення на агроєкологічний стан дерново-підзолистого ґрунту під культурами 5-пільної зерно-просапної сівозміни.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В умовах сьогодення виняткового значення набуває постійний моніторинг рівня забруднення сільськогосподарської продукції радіонуклідами. З огляду на те, що вирощена продукція у різних формах надходить до харчового ланцюга людини. Найбільшу радіоекологічну небезпеку становлять «довгоживучі» радіоізотопи, зокрема цезій-137 (¹³⁷Cs) та стронцій-90 (⁹⁰Sr), які характеризуються високою біологічною доступністю та активною участю у процесах трофічної міграції.

Науково доведено відомими вченими (О. Фурдичко, Г. Чоботько, Л. Райчук, Л. Романчук та ін.), що радіонукліди з тривалим періодом напіврозпаду, потрапивши в агроєкосистеми, з часом неминуче потрапляють в організм людини через харчові продукти, питну воду та інші складові довкілля. У зв'язку з цим особливої уваги заслуговують питання збереження здоров'я населення та забезпечення радіологічної безпеки сільськогосподарського виробництва на забруднених територіях.

Після випадіння радіоактивних речовин на ґрунт у межах зони відчуження та прилеглих до неї територій сформувався локальні «гарячі точки» з підвищеним умістом радіонуклідів. Найчастіше до таких ділянок належать заплави екосистем,

лісові пасовища, заболочені території та береги водойм. Встановлено, що випас великої рогатої худоби на таких територіях може зумовити 2–3-кратне збільшення концентрації ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах тваринництва порівняно з аналогічними показниками під час випасання на відкритих луках і пасовищах [3; 9–11].

Найбільше накопичення радіонуклідів у рослинній масі спостерігається на дерново-підзолистих ґрунтах, тоді як найменше — на чорноземах. Така закономірність зумовлена відмінностями у фізико-хімічних властивостях ґрунтів, зокрема вмістом органічної речовини, ємністю катіонного обміну, кислотністю та мінералогічним складом.

Низка відомих вчених (А. Малиновський, М. Дідух, Л. Романчук та ін.) вважає, що органічні речовини ґрунту відіграють значну роль у регуляції біологічної доступності радіонуклідів, зокрема ^{137}Cs , для рослин. Наявність органічної речовини сприяє фіксації цезію у ґрунті, обмежуючи його рухливість та поглинання рослинами. Однак існує й альтернативна точка зору, згідно з якою підвищений вміст органічної речовини, особливо у слабо мінералізованих торфових ґрунтах, навпаки, сприяє підвищенню рухомості ^{137}Cs і його інтенсивнішому надходженню у трофічні ланцюги [3; 6; 12].

Хімічний склад дерново-підзолистих ґрунтів, зокрема низька ємність катіонного обміну та дефіцит мінеральних компонентів глинистої фракції, зумовлює слабе протікання процесів необмінного поглинання ^{137}Cs . У результаті радіонуклід характеризується високою міграційною здатністю й біологічною доступністю, що особливо виражено у дерново-підзолистих, органічних (торфово-болотних) та аналогічних їм за складом ґрунтах [13–15].

Забруднення ґрунтів сільськогосподарського призначення важкими металами є одним із ключових агроекологічних викликів для агропромислового комплексу України. До важких металів належать хімічні елементи з атомною масою понад 40 та густиною більше 5 г/см^3 , які мають

характерні металеві властивості. Вони є інертними до біологічного розщеплення, накопичуються у ґрунтах та біоценозах і проявляють високу токсичність навіть у малих концентраціях.

У природних умовах важкі метали можуть бути присутні в ґрунтах у вигляді мінеральних домішок. Однак підвищення їхньої концентрації, як правило, є результатом антропогенної діяльності — насамперед роботи металургійної, хімічної, цементної промисловості, транспорту, спалювання палива, нерационального внесення добрив та пестицидів. За останні десятиліття внаслідок індустріалізації й урбанізації спостерігається стрімке зростання вмісту важких металів у біосфері, атмосфері, гідросфері та, зокрема, у ґрунтовому покриві.

В умовах інтенсивного антропогенного навантаження надходження важких металів до агроєкосистем часто перевищує її природні буферні можливості, що спричиняє накопичення токсичних елементів у орному шарі ґрунту. На думку Я. Чабанюка, І. Бровко, С. Мазур та ін., це не лише негативно впливає на фізіолого-біохімічні процеси у рослинах, але й знижує врожайність, погіршує якість сільськогосподарської продукції, підвищує ризик її токсичності для людини та тварин [16; 17].

Розподіл важких металів у ґрунтовому середовищі залежить від комплексу фізико-хімічних, біологічних і агротехнічних чинників. До основних чинників, що визначають поведінку важких металів у ґрунті, належать: гранулометричний склад, кислотно-лужна реакція (рН), вміст оксидів і гідроксидів заліза, марганцю та алюмінію, наявність карбонатів, особливості внесення мінеральних та органічних добрив, активність ґрунтової біоти, вміст органічної речовини, тип ґрунту, інтенсивність вертикальної міграції у профілі, специфіка хімічного елементу й форми його зв'язування у ґрунтовій фазі.

Одним із найважливіших регуляторів мобільності важких металів є органічна речовина ґрунту, зокрема гумінові й фульвокислоти. Вони утворюють стійкі комплекси з іонами металів, обмежуючи їхню

біодоступність. Ґрунти, багаті на гумус, здатні акумулювати значно більшу кількість важких металів порівняно з піщаними або слабогумусованими ґрунтами. Це пояснюється високою сорбційною ємністю органічної речовини, яка виконує роль буферного бар'єра між мобільною та фіксованою формами металів.

Водночас О. Tkachuk, V. Verhelis, D. Breus та О. Yevtushenko наголошують, що навіть незначні концентрації важких металів, які систематично надходять у ґрунт протягом тривалого періоду, можуть спричинити істотне накопичення цих елементів у ґрунтовому профілі. З часом це призводить до хронічного токсичного навантаження на агроєкосистему, забруднення продукції рослинництва та погіршення якості ґрунтового покриву [18; 19].

Наслідки Чорнобильської аварії й досі залишаються надзвичайно актуальними для Поліського регіону України, зокрема у контексті радіоекологічного стану земель. Попри десятиліття, що минули після аварії, ризики радіоактивного забруднення природної та сільськогосподарської продукції зберігаються на високому рівні, особливо у зонах із підвищеним вмістом ^{137}Cs та ^{90}Sr . Це створює серйозні екологічні й продовольчі загрози, які потребують системного контролю.

Крім того, аграрне виробництво в Поліссі продовжує відігравати важливу роль у структурі регіональної економіки. Особливе занепокоєння викликає ситуація із використанням сільськогосподарських угідь, розташованих на забруднених територіях, де нерідко відбувається хаотичне, науково необґрунтоване і фактично безконтрольне залучення радіоактивно забруднених ґрунтів у землекористування. Така практика є потенційно небезпечною як для споживачів продукції, так і для довкілля загалом.

У віддалений післяаварійний період актуальним є завдання впровадження системи безпечного використання частини цих земель, зокрема з дерново-підзолистими ґрунтами, які найпоширеніші у північних районах України. Це передбачає розробку і застосування агротехнологічних заходів,

спрямованих на зниження біодоступності радіонуклідів, моніторинг вмісту забруднювачів у продукції та дотримання всіх існуючих екологічних норм. Рациональне повернення таких територій до сільськогосподарського обігу можливе лише за умов дотримання принципів радіоекологічної безпеки, наукового супроводу та державного контролю, що дасть можливість забезпечити виробництво якісної та безпечної продукції.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження з вивчення впливу норм удобрення та сівозмінного чинника на агроєкологічний стан дерново-підзолистого ґрунту, продуктивність, урожайність і якість отриманої продукції культур 5-пільної сівозміни проводили в стаціонарному досліді на території с. Христинівка Народицького р-ну Житомирської обл., яке відноситься до 2-ї зони радіоактивного забруднення, впродовж 2015–2019 рр.

Повторення досліді триразове. Розмір дослідної ділянки 28 м², облікової — 18 м². Розміщення ділянок систематичне.

Технологія вирощування сільськогосподарських культур у досліді загальноприйнята і рекомендована для зони проведення досліджень.

Сільськогосподарські культури вирощували в 5-пільній зерно-просапній сівозміні з таким чергуванням: овес – люпин – тритикале яре – буряки кормові – кукурудза на зерно за відповідних норм удобрення передбачених робочою програмою (без добрив (контроль), 1-ша норма та 2-га норма добрив). Розрахунок азотних добрив виконувався під кожну культуру на запланований врожай. Норма фосфорних добрив збільшена у 1,5 раза, а калійних добрив у 2 рази у 3-му варіанті. Застосування добрив мало на меті не лише агрономічну ефективність, а й вплив на міграцію радіонуклідів та важких металів у системі ґрунт–рослина.

Лабораторні дослідження ґрунтових зразків здійснювали відповідно до чинних ДСТУ та за загальноприйнятими методи-

ками, а саме: масову концентрацію рухомих форм важких металів атомно-абсорбційним методом згідно нормативних документів: (свинець — ДСТУ 4770.9:2007, кадмій — ДСТУ 4770.3:2007, ртуть — «Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах»). Ступінь забруднення ґрунтів ^{90}Sr виявляли згідно з «Методическими указаниями по определению содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах и растениях». Ступінь забруднення ґрунтів ^{137}Cs визначали згідно з «Методики экстренного радиологического определения по гамма-излучению объемной и удельной активности радионуклидов цезия в воде, почве, продуктах питания, продуктах животноводства и растениеводства».

Математико-статистичну обробку результатів досліджень виконували на персональному комп'ютері з використанням пакетів прикладних програм типу Excel, Statistica, Sigma. Статистичну обробку отриманих у дослідженнях результатів здійснювали методом варіаційної статистики.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Зниження рівня радіоактивного забруднення ґрунтів є одним із ключових завдань для забезпечення екологічної безпеки сільськогосподарського виробництва в зонах із підвищеним радіаційним навантаженням. Ефективність агротехнічних заходів, зокрема застосування добрив, має значний вплив на мобільність і накопичення радіонуклідів у дерново-підзолистих ґрунтах, що дає можливість зменшити ризики потрапляння ^{137}Cs та ^{90}Sr у продукцію рослинництва.

За результатами наших досліджень у 2015–2019 рр. визначено, що внесення доломітового борошна в дозі 5 т/га, внесення перегною великої рогатої худоби у дозі 8 т/га у 2014 р. та застосування норми удобрення під сільськогосподарські культури 5-пільної зерно-просапної сівозміни в період проведення досліджень і фактор сівозміни мали позитивний ефект на зниження щільності забруднення дерново-під-

золистого ґрунту цезієм-137 та стронцієм-90. Так, щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs у середньому за п'ять років досліджень була в межах від 881,6 до 1046,1 кБк/м² за більшої концентрації цього елемента на контрольних варіантах, що згідно ГДК перевищує допустиму концентрацію на 37–57%, або 1,6–1,9 разів (табл. 1).

Найнижчою щільність цезію-137 була за 1-ї норми добрив і становила 881,6–916,1 кБк/м², що на 32,3–48,3 кБк/м² менше, ніж за 2-ї норми добрив і на 130–131,2 кБк/м² менше, ніж на варіантах без внесення добрив (контроль). Це вказує на високу ефективність застосованих норм добрив, особливо 1-ї норми. Коефіцієнт варіації становив 6,2%. Середня концентрація ^{137}Cs по досліді загалом була на рівні 956,2 кБк/м².

З-поміж досліджуваних культур 5-пільної сівозміни найбільшою щільність забруднення цим елементом була під посівами вівса, а найменшою — під посівами кукурудзи.

Щільність забруднення ґрунту ^{90}Sr у середньому за 2015–2019 рр. була в межах від 15,8 до 17,3 кБк/м² залежно від культур сівозміни та норм добрив за дещо вищих значень на контролі, що в 6–7 разів нижче згідно з ГДК, де гранично допустима концентрація становить 111 кБк/м². Досліджувані фактори позитивно впливали на щільність забруднення ґрунту ^{90}Sr , про що свідчить незначне варіювання, де V становить 3,1%. Серед досліджуваних культур 5-пільної зерно-просапної сівозміни дещо більша концентрація стронцію-90 була під посівами вівса й люпину, найменшою — під посівами кукурудзи, де ці значення були в межах 15,8–15,9 кБк/м². Середня щільність забруднення ґрунту ^{90}Sr по досліді загалом була на рівні 16,4 кБк/м² (див. табл. 1).

За результатами польових досліджень та отриманих даних лабораторних аналізів визначено, що вміст рухомих форм свинцю у дерново-підзолистому ґрунті, в середньому за 2015–2019 рр., знаходився на рівні від 0,75 до 0,86 мг/кг ґрунту за вищого його вмісту під посівами вівса й кукурудзи

Таблиця 1. Щільність забруднення ґрунту цезієм-137 та стронцієм-90, кБк/м² (с. Христинівка, Народицький р-н, Житомирська обл.), середнє за 2015–2019 рр.

Культура сівозміни	Удобрєння	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Овес	без добрив (контроль)	1046,1	17,2
	N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	916,1	16,4
	N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	946,3	16,3
Люпин	без добрив (контроль)	1012,8	16,6
	N ₃₀ P ₄₀ K ₅₀	896,4	17,0
	N ₃₀ P ₆₀ K ₁₀₀	929,9	16,8
Тритикале яре	без добрив (контроль)	1032,3	16,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	883,6	16,2
	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₆₀	948,4	16,8
Буряки кормові	без добрив (контроль)	1039,9	17,3
	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₆₀	897,7	15,8
	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₃₂₀	945,7	16,1
Кукурудза	без добрив (контроль)	1024,2	15,9
	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₈₀	881,6	15,8
	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀	941,3	15,8
ГДК		555	111
Середнє		956,2	16,4
S _x		15,3	0,13
V, %		6,2	3,1
S		59,4	0,52

5-пільної зерно-просапної сівозміни, де ці показники становили 0,80–0,83 і 0,78–0,86 мг/кг відповідно, що вказує на морфологічні особливості цих культур щодо нагромадження важких металів. Найменший вміст рухомих форм свинцю в ґрунті був під посівами буряків кормових і ці значення були на рівні 0,75–0,82 мг/кг, що на 4–13% менше, порівняно до інших досліджуваних культур сівозміни (табл. 2).

Аналізуючи норми добрив видно, що найефективнішою щодо зниження вмісту свинцю в ґрунті виявилася 1-ша норма під посівами вівса, люпину й тритикале ярого, тоді як під посівами буряків кормових і кукурудзи — 2-га норма, що свідчить про високу ефективність застосованих норм добрив. Середній вміст рухомих форм свинцю по сівозміні був на рівні 0,80 мг/кг

ґрунту (ГДК 6 мг/кг) за незначного варіювання, де V становив 3,9%.

Згідно з отриманими даними з'ясовано, що вміст рухомих форм кадмію у дерново-підзолистому ґрунті, в середньому за п'ять років досліджень, був у межах від 0,028 до 0,046 мг/кг за найвищого вмісту цього елементу під посівами тритикале ярого й кукурудзи 5-пільної зерно-просапної сівозміни, тоді як найменше накопичення кадмію було під посівами вівса, де вміст його становив 0,028–0,037 мг/кг. З-поміж досліджуваних норм добрив більш ефективною щодо зниження вмісту рухомих форм кадмію виявилася 2-га норма добрив, а найменше накопичення не залежно від досліджуваних чинників відбулося під посівами вівса на варіанті без внесення добрив (контроль) 0,028 мг/кг (див. табл. 2).

Таблиця 2. Вміст рухомих форм важких металів у ґрунті, мг/кг,
(с. Христинівка, Народицький р-н, Житомирська обл.), середнє за 2015–2019 рр.

Культура сівозміни	Удобрєння	Pb	Cd	Hg
Овес	без добрив (контроль)	0,80	0,028	0,0030
	N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	0,80	0,037	0,0032
	N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	0,83	0,032	0,0033
Люпин	без добрив (контроль)	0,78	0,038	0,0034
	N ₃₀ P ₄₀ K ₅₀	0,78	0,045	0,0031
	N ₃₀ P ₆₀ K ₁₀₀	0,81	0,044	0,0027
Тритикале яре	без добрив (контроль)	0,82	0,046	0,0032
	N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	0,76	0,041	0,0028
	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₆₀	0,80	0,042	0,0031
Буряки кормові	без добрив (контроль)	0,82	0,042	0,0034
	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₆₀	0,76	0,041	0,0033
	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₃₂₀	0,75	0,041	0,0034
Кукурудза	без добрив (контроль)	0,86	0,045	0,0028
	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₈₀	0,84	0,045	0,0029
	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀	0,78	0,036	0,0032
ГДК		6	0,7	
Середнє		0,80	0,040	0,0031
Sx		0,01	0,001	0,0001
V, %		3,9	13,0	7,3
S		0,03	0,005	0,0002

Середній вміст кадмію по сівозміні був на рівні 0,040 мг/кг ґрунту, ГДК становить 0,7 мг/кг, що вказує на високу ефективність досліджуваних чинників (фактор сівозміни, норм застосовуваних добрив, морфологічних особливостей сільськогосподарських культур) щодо зниження вмісту рухомих форм кадмію. Коефіцієнт варіації був 13,0%, що відповідає середньому рівню варіювання.

За результатами лабораторних аналізів визначено, що вміст рухомих форм ртуті у дерново-підзолистому ґрунті під досліджуваними культурами 5-пільної зерно-просапної сівозміни, в середньому за 2015–2019 рр., знаходився у межах від 0,0027 до 0,0034 мг/кг за найменшого нагромадження цього елемента під посівами кукурудзи — 0,0028–0,0032 мг/кг

ґрунту, тоді як найбільший вміст ртуті був під посівами буряків кормових — 0,0033–0,0034 мг/кг ґрунту відповідно. Досліджувані норми добрив мало впливали на вміст рухомих форм ртуті у ґрунті, що фіксує незначне варіювання, де коефіцієнт варіації становив 7,3%, а середнє значення вмісту цього елемента був на рівні 0,0031 мг/кг (див. табл. 2).

ВИСНОВКИ

У результаті проведених багаторічних досліджень встановлено, що застосування різних норм мінеральних добрив у поєднанні з органічними (перегній, доломитове борошно) істотно впливало на агрологічні показники дерново-підзолистого ґрунту під культурами зерно-просапної 5-пільної сівозміни. Отримані результати

свідчать про ефективність інтенсивної системи удобрення у збереженні родючості ґрунту та зменшенні радіоекологічного навантаження.

Щільність забруднення ґрунтів ^{137}Cs на початку досліджень значно перевищувала ГДК (до $1169,2 \text{ кБк/м}^2$), тоді як рівні ^{90}Sr залишалися у межах допустимих норм. Упродовж досліджень (2015–2019 рр.) виявлено стабільне зниження вмісту обох радіонуклідів, зокрема за застосування мінеральних добрив і вапна, де щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs в середньому за п'ять років досліджень була в межах від $881,6$ до $1046,1 \text{ кБк/м}^2$, ^{90}Sr — від $15,8$ до $17,3 \text{ кБк/м}^2$ за більшої концентрації цих

елементів на контрольних варіантах, що підтверджує ефективність запропонованої системи удобрення як одного з механізмів зниження радіоактивного навантаження на агроценози.

Уміст рухомих форм свинцю, кадмію та ртуті у ґрунті не перевищував гранично допустимих концентрацій ($\text{Pb} - 0,80 \text{ мг/кг}$, $\text{Cd} - 0,040 \text{ мг/кг}$, $\text{Hg} - 0,0031 \text{ мг/кг}$), що свідчить про екологічну безпечність агроценозу щодо токсичного навантаження. Водночас, враховуючи потенційне накопичення ВМ у випадку значної інтенсифікації виробництва, необхідним є подальший моніторинг їх вмісту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кирильчук, А. М., & Паламарчук, Р. П. (2022). Динаміка вмісту ^{137}Cs та ^{90}Sr у ґрунтового покриві сільськогосподарських угідь Житомирської області. *Агроекологічний журнал*, 4, 84–92. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2022.273254>.
2. Гудков, І. М., & Лазарев, М. М. (2018). Проблеми реабілітації та повернення до використання забруднених радіонуклідами ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Спеціальний випуск*. Кн. 2. 83–91.
3. Малиновський, А. С., Дідух, М. І., & Романчук, Л. Д. (2005). *Радіологічна оцінка території безумовного (обов'язкового) відселення Житомирської області (20 років після аварії на ЧАЕС)*. Житомир: ДАУ.
4. Надточій, П. П., Ратошнюк, В. І., & Ратошнюк, І. Ю. та ін. (2020). *Агроекологічне обґрунтування способів обробітку дерново-підзолистого ґрунту та систем удобрення польових культур в зоні радіоактивного забруднення Житомирського Полісся*. Житомир: Вид. ПП «Рута».
5. Мельник, В. В., Курбет, Т. В., & Швиденко, І. К. (2019). Накопичення ^{137}Cs у рослинах трав'яночагарникового ярусу в умовах вологих суборів Українського Полісся. *Агроекологічний журнал*, 1, 42–49. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2019.163250>.
6. Кашпаров, В. А. та ін. (2007). *Методика комплексного радіаційного обстеження забруднених внаслідок Чорнобильської катастрофи територій (за винятком територій зони відчуження)*. Київ: Атака-Н.
7. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи. Закон України № 791а-ХІІ (2001). (Україна).
8. Надточій, П. П., Ратошнюк, В. І., & Ратошнюк, Т. М. (2021). Вплив добрив та обробітку на якісний стан дерново-підзолистого ґрунту та продуктивність польових культур сівозміни в умовах Житомирського Полісся. *Вісник аграрної науки*, 5(818), 5–15. DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202105-01>.
9. Фурдичко, О. І. (2016). Радіоекологічна безпека аграрних і лісових екосистем у віддалений період після аварії на ЧАЕС. *Агроекологічний журнал*, 1, 6–13.
10. Чоботько, Г. М., Райчук, Л. А., Швиденко, І. К., & Кучма, М. Д. (2020). Математична модель міграції ^{137}Cs в агроландшафтах Українського Полісся у віддалений період після аварії на ЧАЕС. *Агроекологічний журнал*, 1, 12–18. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2020.201264>.
11. Romanchuk, L. D., Herasymchuk, L. O., & Lopatyuk, O. V. (2019). Quality of life of the population resident at the radioactively contaminated area in Zhytomyr Region. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(4), 478–485.
12. Романчук, Л. Д., Лопатюк, О. В., & Ковальова, С. П. (2019). Оцінка вмісту радіонукліду ^{137}Cs у продуктах харчування мешканців радіоактивно забруднених територій у віддалений період після аварії на ЧАЕС. *Наукові горизонти*, 8(81), 82–86.
13. Мусич, О. Г., Ландін, В. П., Парфенюк, А. І., & Дем'янюк, О. С. (2018). Порушення екологічної рівноваги мікробіоценозу на радіаційно забруднених ґрунтах Полісся України. *Агроекологічний журнал*, 3, 70–77. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2018.148332>.
14. Мусич, О. Г., Ландін, В. П., & Райчук, Л. А. (2019). Акумуляція ^{137}Cs та ^{90}Sr у рослинах унаслідок техногенної катастрофи на ЧАЕС. *Агро-екологічний журнал*, 1, 124–130. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2019.163297>.
15. Krasnov, V., Ivaniuk, I., Zhukovskiy, O., Kurbet, T., & Orlov, O. (2022). Dynamics of ^{137}Cs accumulation by cranberry on sphagnum bogs of Polissia of Ukraine.

- Scientific Horizons*, 25(1), 68–75. DOI: [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(1\).2022.68-75](https://doi.org/10.48077/scihor.25(1).2022.68-75).
16. Чабанюк, Я. В., Бровко, І. С., Мазур, С. О., Тимошенко, В. В., & Никифорова, В. М. (2018). Біологічні властивості ґрунтів за дії агротехнічних чинників. *Агроекологічний журнал*, 1, 115–122. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2018.161415>.
17. Паламарчук, Р. П. (2018). Забруднення важкими металами дослідних ділянок Народицького району Житомирської області. *Охорона ґрунтів*. С. 100–101.
18. Breus, D., & Yevtushenko, O. (2022). Modeling of trace elements and heavy metals content in the Steppe soils of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, 23(8), 230–239. URL: <https://www.jeeng.net/Modeling-of-Trace-Elements-and-Heavy-Metals-Content-in-the-Steppe-Soils-of-Ukraine,144391,0,2.html>.
19. Tkachuk, O., & Verhelis, V. (2021). Intensity of soil pollution by toxic substances depending on the degree of its washout. *Scientific Horizons*, 24(3), 52–57. DOI: [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(3\).2021.52-57](https://doi.org/10.48077/scihor.24(3).2021.52-57).

Стаття надійшла до редакції журналу 26.07.2025

ВПЛИВ ШИРИНИ МІЖРЯДДЯ ТА РІЗНИХ ДОЗ АЗОТНИХ ДОБРИВ НА РІСТ І РОЗВИТОК ШАВЛІЇ ЛІКАРСЬКОЇ (*SALVIA OFFICINALIS* L.)

О.М. Тимошенко

Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: ttlife25082017@gmail.com; ORCID: 0009-0004-5061-9474

У статті висвітлено результати дослідження впливу агротехнічних чинників — ширини міжрядь (45 і 70 см) та доз внесення азотних добрив (0, 30, 60, 90, 120 кг/га) — на ріст і розвиток шавлії лікарської (*Salvia officinalis* L.) у перший рік вегетації в умовах центральної частини Лісостепу України (Полтавська обл.). Дослідження охоплювало вивчення динаміки біометричних показників упродовж усього вегетаційного періоду (травень—вересень): висоти рослин, площі листового апарату, маси сирової надземної частини, а також маси сирого кореня. Установлено, що як ширина міжрядь, так і рівень азотного живлення істотно впливали на ріст рослин, зокрема на інтенсивність формування надземної біомаси та листової поверхні. Найвищі значення показників зафіксовано у варіанті з міжряддям 70 см і внесенням азоту в дозі 120 кг/га. За цих умов маса сирової надземної частини становила 84,6 г/росл., площа листків — 0,1103 м²/рослину, маса сирого кореня — 21,1 г/росл., а висота рослин — 33,2 см у вересні. У варіантах із ширшими міжряддями рослини отримували кращі умови освітлення, вентиляції та менше конкурували між собою, що сприяло ефективнішому розвитку як вегетативної, так і генеративної частини. Порівняльний аналіз варіантів із шириною міжрядь 45 см та 70 см виявив перевагу останніх за достатнього забезпечення азотом. Найбільша інтенсивність приросту біомаси і площі листків спостерігалася у червні—липні, після чого темпи росту поступово сповільнювалися, що відповідає фазам розвитку культури. Одержані результати свідчать про високу ефективність поєднання ширини міжрядь 70 см та дози азоту 120 кг/га для вирощування шавлії лікарської в першому році вегетації. Таке поєднання агроприйомів забезпечує формування потужного асиміляційного апарату, активне наростання надземної маси та розвиток кореневої системи, що є запорукою високої продуктивності та якості лікарської сировини. Дослідження має прикладне значення і може бути використано для удосконалення агротехнологій вирощування шавлії лікарської в зоні Лісостепу України, а також за впровадження елементів точного землеробства у виробництво ефіроолійних культур.

Ключові слова: конкуренція між рослинами, біометричні показники, агротехнічні чинники, врожайність, ефіроолійна культура, агроприйоми.

ВСТУП

Пріоритетною проблемою, яка потребує науково обґрунтованих підходів до вирішення, є промислове вирощування лікарських, ефіроолійних і пряно-ароматичних рослин на основі органічного виробництва та збалансованого використання добрив і засобів захисту рослин. **Метою таких досліджень** насамперед є отримання екологічно безпечної і якісної сировини для потреб фармацевтичної промисловості, медицини, ветеринарії та інших галузей. Значним попитом у цих галузях користується сировина видів роду *Salvia* L., зокрема і шавлії

лікарської — *Salvia officinalis* L. Завдяки своїм фармакологічним і біологічним властивостям, шавлія лікарська має значний потенціал для підтримки здоров'я населення, розвитку сільського господарства, екотуризму та інновацій у фармацевтиці під час війни й повоєнного відновлення України.

Ця рослина з давня відома своїми протизапальними, антиоксидантними та противірусними властивостями. Нині та у повоєнний період, коли населення знаходиться під загрозою підвищеної вразливості та ризиками захворювань на фоні стресу, *Salvia officinalis* L. може бути корисною

для підтримки загального здоров'я та підсилення імунної системи. Вирощування шавлії лікарської може стати важливим аспектом відновлення сільського господарства та розвитку сільських регіонів. Ця рослина є відносно невимогливою до умов вирощування та є додатковим джерелом доходів для присадибного вирощування та невеликих фермерських господарств. Вирощування шавлії лікарської здатне сприяти розвитку місцевої економіки, самозайнятості населення та створенню робочих місць.

Salvia officinalis L. має багату історію використання в українській традиційній медицині та культурі. Вона може стати привабливим об'єктом для туристів, які зацікавлені у вивченні традиційних методів лікування та культурних звичаїв України. Розвиток туризму, пов'язаного з шавлією лікарською, ймовірно допомагатиме залученню туристів та підтримці місцевих спільнот. Вивчення та дослідження шавлії лікарської послугує розробці й удосконаленню прийомів її вирощування в різноманітних ґрунтово-кліматичних зонах України, створенні нових лікарських засобів, фітосуплементів та натуральних продуктів для поліпшення здоров'я населення України [1–4].

Шавлія лікарська (*Salvia officinalis* L.) належить до переліку тих лікарських культур, які характеризуються високими вимогами до родючості ґрунту та чутливістю до елементів живлення. Вона демонструє чітко виражену позитивну реакцію на внесення добрив як органічного, так і мінерального походження [4–8], що сприяє більш ефективному використанню природної вологи, зокрема ґрунтової, підвищує зимостійкість рослин, а також позитивно впливає на продуктивність культури та якісні показники врожаю. Позитивна дія добрив на врожайність шавлії зумовлена тим, що значна частина поживних елементів у ґрунті перебуває у важкодоступних формах.

Через обмежену фізіологічну активність кореневої системи ці елементи стають малодоступними для рослин. У технології

вирощування шавлії лікарської рекомендовано застосування як органічних, так і мінеральних добрив [9].

Низкою досліджень доведено доцільність внесення органічних добрив на малородючих ґрунтах, де вміст гумусу не перевищує 2%. На ґрунтах із високою природною родючістю органічні добрива, як правило, застосовують під попередники у спеціальній сівозміні з використанням лікарських і пряно-ароматичних культур. Найчастіше, як органічне добриво, використовують гній, зокрема за вирощування шавлії лікарської після чистого або зайнятого пару [7; 10; 11].

За внесення мінерального добрива на підзолистих ґрунтах Полісся врожайність шавлії зростає на 8–10 ц/га, вилугуваних ґрунтах і потужних чорноземах Лісостепу — на 6,5–8 ц/га, на звичайних і південних чорноземах Степу України — на 3–5 ц/га і ефективність їх багато в чому залежить від вологозабезпеченості. Особливе значення для шавлії мають азотні добрива [10].

У контексті вдосконалення технології вирощування шавлії лікарської одним із актуальних завдань є з'ясування впливу площі живлення та рівня азотного забезпечення на ріст і розвиток рослин у перший рік вегетації.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Серед українських дослідників, що зробили вагомий внесок у вивчення шавлії лікарської, слід відзначити таких авторів: М.І. Федорчук, В.Д. Работягов, С.П. Кутько [7; 10; 12]. Оптимальне забезпечення шавлії лікарської азотом сприяє активному куццю рослин та формуванню добре розвинених листових пластинок, що безумовно впливає на врожай сировини. Водночас як дефіцит, так і надлишок цього елемента негативно впливають на ріст, розвиток та продуктивність культури. Надмірне азотне живлення є особливо шкідливим у другій половині вегетації: воно призводить до інтенсивного наростання вегетативної маси восени, що знижує мо-

розо- та зимостійкість рослин. У загущених посівах, викликаних надлишковим ростом, спостерігається зменшення інтенсивності фотосинтетичних процесів через взаємозатіннення, а також підвищується ризик ураження рослин хворобами [7; 10; 12; 13].

За результатами наукових досліджень вчених, як-от Я.В. Белов, Г.В. Мудрак, М.І. Федорчук та ін. [11; 14–16] за вирощування шавлії лікарської на дерново-підзолистих ґрунтах рекомендовано вносити мінеральні добрива в дозах по 80–100 кг/га діючої речовини азоту, фосфору та калію. Для чорноземів Лісостепу ця норма становить 60–80 кг/га. В умовах інтенсивної технології вирощування середньою рекомендованою нормою є внесення 80–100 кг/га азоту та по 60–70 кг/га фосфору і калію. Ці показники можуть коригуватися залежно від агрохімічних властивостей ґрунту, попередника, ґрунтово-кліматичної зони, особливостей сорту та інших технологічних чинників.

Система застосування мінеральних добрив за вирощування шавлії лікарської передбачає їх внесення на різних етапах агротехнічного процесу: під основний обробіток ґрунту, у рядки під час сівби, а також у вигляді вегетаційних підживлень, як безпосередньо в зону розміщення кореневої системи, так і по листках.

Дослідженнями, які проведені у різних ґрунтово-кліматичних зонах України доведено, що повну норму фосфорно-калійних добрив, за винятком 10 кг/га фосфору у формі гранульованого суперфосфату, який вносять у рядки під час сівби, доцільно вносити до сівби під основний обробіток ґрунту. У разі невнесення частини фосфорно-калійних добрив під основне удобрення, їх застосовують у вигляді осіннього підживлення або ранньовесняного прикореневого внесення.

Азотні добрива вносять диференційовано за фазами росту і етапами органогенезу культури. Крім того, частину азоту в аміачній формі (близько 25 кг/га), особливо на малородючих ґрунтах та після непарових попередників, рекомендовано вносити під передпосівну культивуацію [15; 16].

Ранньовесняне азотне підживлення шавлії лікарської у фазі кушення (II етап органогенезу), здійснено по мерзлоталому ґрунту, позитивно впливає на інтенсивність кушення, збільшує висоту рослин і їх продуктивність, до того ж практично не впливаючи на якість лікарської сировини. Оптимальна доза внесення азоту на цьому етапі становить 30–40 кг/га, що відповідає приблизно 30% від повної розрахункової норми. Водночас, виявлено, що на посівах, які успішно перезимували та сформували достатню кількість пагонів, проведення ранньовесняного підживлення не рекомендовано. У таких умовах додаткове азотне живлення спричиняє надмірне кушення, що призводить до непродуктивного використання вологи та елементів живлення, стимулює утворення підгону та підвищує ризик вилягання посівів на пізніших етапах розвитку культури [7; 13; 15].

Шавлія лікарська в системі живлення позитивно реагує як на макроеlementи, так і на мікроеlementи, що оптимізують обмін речовин, підвищують урожайність і покращують якість продукції, зокрема сировини [16–18].

На дерново-підзолистих і сірих лісових ґрунтах шавлія лікарська чутлива до дефіциту бору, тоді як на чорноземах і каштанових ґрунтах культура потребує підвищеного забезпечення марганцем і цинком. Мікроеlementи вносять під основний обробіток ґрунту, у рядки під час сівби або шляхом передпосівної обробки насіння.

Для отримання рослинами мікроеlementів використовують марганізований, молібденізований або борвмісний гранульований суперфосфат у середній нормі 2–3 ц/га. Зазначені добрива можуть вноситися як під основний обробіток, так і локально в рядки під час сівби для забезпечення доступності елементів живлення у початковій фазі росту [10; 19; 20].

Починаючи з другого року вегетації, агротехнічні заходи з догляду за шавлією лікарською включають ранньовесняне боронування та внесення азотних добрив у формі аміачної селітри, а також міжрядні культивації на глибину до 8–10 см за потреби.

Головною метою цих заходів є збалансування живлення рослин упродовж вегетаційного сезону, підтримання ґрунту в розпушеному стані та контроль за забур'яненістю посівів. Після збирання врожаю щороку проводять санітарну обрізку рослин, видаляючи сухі та пошкоджені пагони.

Наступним етапом є омолодження кущів — обрізування надземної частини на половину довжини однорічного приросту. Після виконання омолоджуваної обрізки рослини посів підживлюють мінеральними добривами у дозі $N_{60}P_{60}$. Комплексне омолодження плантацій рекомендовано виконувати кожні 5–6 років промислової експлуатації для збереження продуктивності та біологічної стійкості насаджень [17; 21].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальна частина дослідження здійснювалася у відділі технології вирощування лікарських рослин Дослідної станції лікарських рослин Інституту агроєкології і природокористування НААН. Дослідна станція розташована на південній околиці с. Березоточа Лубенського р-ну Полтавської обл., у східній частині Лівобережного Лісостепу України. Географічні координати місця проведення досліджень становлять: $50^{\circ}50'$ пн. ш. та $30^{\circ}11'$ сх. д., висота над рівнем моря — 160 м. Територія досліджень розміщена на другій надзаплавній терасі лівого берега р. Сули (басейн Дніпра).

Ґрунт дослідної ділянки — чорнозем потужний малогумусний, легкий за гранулометричним складом, із потужністю гумусового горизонту 87–100 см. Реакція ґрунтового розчину слабокисла, за обмінною кислотністю — середньокислий. За агрохімічними показниками ґрунт характеризується низькою забезпеченістю легкогідролізованим азотом, дуже високим рівнем рухомого фосфору та підвищеною кількістю обмінного калію. Сума солей не перевищує критичних значень, що допомагає класифікувати ґрунт як незасолений. Попередником у сівозміні була пшениця озима. Підготовка ґрунту включала лу-

щення стерні після збирання попередника, зяблеву оранку плугом із передплужниками на глибину 23–25 см, а також дві передпосівні культивації з метою знищення бур'янів і вирівнювання площі. Рано навесні проводили закриття вологи важкими бородами в два сліди, передпосівний обробіток — культивація на глибину 10–12 см.

Польовий дослід було закладено за методичними підходами, прийнятими у вітчизняній практиці лікарського рослинництва. Схему досліді розроблено відповідно до рекомендацій Б.О. Доспехова та М.М. Горяньського. Біометричні виміри, фенологічні спостереження та відбір зразків виконувались згідно з методиками А.І. Брикіна та О.А. Поради, адаптованими до особливостей морфогенезу ефіроолійних культур. Польовий дослід мав чотириразове повторення, площа облікових ділянок становила 20–30 м², загальна площа ділянок — 25–45 м².

Дослід передбачав два фактори: ширину міжрядь (45 і 70 см) та дозу внесення мінерального азоту (0, 30, 60, 90, 120 кг/га). Висів насіння шавлії лікарської сорту Шанс із дотриманням глибини загортання 1,5–2,0 см. Упродовж вегетації проводили стандартні заходи догляду за посівами, включаючи міжрядні обробітки та ручне прополювання. Оцінку впливу досліджуваних чинників здійснювали шляхом визначення висоти рослин, площі листкового апарату, маси сирої надземної частини та маси сирого кореня у ключові фази розвитку — щомісячно з травня по вересень. Усі дані піддавались математичній обробці з використанням варіаційно-статистичних методів із метою визначення достовірності впливу чинників та їхньої взаємодії.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У процесі дослідження було проведено комплексну оцінку впливу ширини міжрядь та дозування азотних добрив на біометричні показники шавлії лікарської (*Salvia officinalis* L.) першого року вегетації. Згідно з отриманими даними, чітко простежується закономірне збільшення

**Біометричні показники росту та розвитку шавлії лікарської
першого року вегетації залежно від ширини міжряддя та дози внесення азотних добрив
(станом на першу декаду вересня, середнє за 2023–2025 рр.)**

Фактор А	Фактор Б	Висота рослин, см	Вага сирій надземної частини, г	Площа листіків, м ² /росл.	Діаметре кореневої шийки, мм	Довжина кореня, см	Вага сирого кореня, г/росл.
Ширина міжряддя 45 см	N ₀	30,8	46,6	0,0592	8,8	23,8	12,6
	N ₃₀	31,7	49,2	0,0624	9,3	24,3	12,9
	N ₆₀	33,3	52,8	0,0671	9,8	25,2	13,5
	N ₉₀	35,4	58,1	0,0758	10,5	26,4	15,0
	N ₁₂₀	37,0	64,3	0,0836	11,2	28,2	15,7
Ширина міжряддя 70 см	N ₀	27,6	59,0	0,0760	9,7	24,9	16,2
	N ₃₀	28,7	66,5	0,0862	10,5	25,7	17,1
	N ₆₀	29,9	71,7	0,0937	11,3	26,2	19,0
	N ₉₀	31,7	78,8	0,1030	11,9	28,4	20,8
	N ₁₂₀	33,2	84,6	0,1103	12,4	30,2	21,3

біометричних параметрів із підвищенням рівня азотного живлення, незалежно від ширини міжрядь. За ширини міжрядь 45 см, максимальні показники росту зафіксовано під час внесення азотних добрив у дозі N₁₂₀: висота рослин сягала 37,0 см, вага сирій надземної маси — 64,3 г, площа листків — 0,0836 м²/росл. Одночасно спостерігалось значне потовщення кореневої шийки (11,2 мм), подовження кореня (28,2 см) та збільшення його сирій маси (15,7 г/росл.), що свідчить про активний розвиток підземної частини рослин під впливом азотного живлення (*табл.*).

Внесення азотних добрив у варіантах із шириною міжряддя 70 см також сприяє більш інтенсивному росту та розвитку шавлії лікарської. За аналогічних умов (N₁₂₀) рослини мали більші біометричні розміри: вага надземної сирій частини становила — 84,6 г, площа листків — 0,1103 м²/росл., маса сирого кореня досягала 21,1 г/росл. Підвищення освітленості рослин і зменшення міжвидової конкуренції за ресурси у варіантах із ширшими міжряддями, ймовірно, є основними чинниками покращання росту як надземної частини, так і коренів.

Загальний аналіз отриманих показників дає можливість стверджувати, що опти-

мальними умовами для росту й розвитку шавлії лікарської першого року вегетації є поєднання ширини міжрядь 70 см з внесенням азотних добрив у дозі 120 кг/га. Саме в цих умовах біометричні параметри рослин набувають максимальних значень, що свідчить про ефективність зазначеного варіанта агротехнології щодо формування повноцінного асиміляційного апарату та кореневої системи.

На *рис. 1* представлено залежність площі листового апарату шавлії лікарської

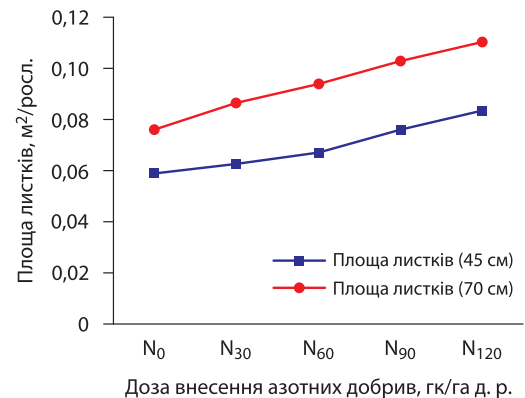


Рис. 1. Залежність площі листового апарату шавлії лікарської від дози азотних добрив та ширини міжряддя

першого року вегетації залежно від доз азотних добрив та ширини міжряддя. Чітко простежується позитивна кореляція між дозою внесення азотних добрив та площею листової поверхні для обох варіантів міжряддя. За ширини 45 см показник зростає від $0,0592 \text{ м}^2/\text{роsl.}$ (N_0) до $0,0836 \text{ м}^2/\text{роsl.}$ (N_{120}), що становить збільшення на 41,2%. Для міжряддя 70 см спостерігається інтенсивніша динаміка: від $0,0760 \text{ м}^2/\text{роsl.}$ (N_0) до $0,1103 \text{ м}^2/\text{роsl.}$ (N_{120}), тобто сягають покращання на 45,1%.

За ширини міжряддя 70 см шавлія в усіх варіантах має більшу площу листків, ніж за 45 см — і без добрив, і з ними. На контролі, без внесення добрив (N_0), різниця становила 28,4% ($0,0760 \text{ м}^2$ проти $0,0592 \text{ м}^2$), а за високої дози азоту (N_{120}) перевага зростає до 31,9% ($0,1103 \text{ м}^2$ проти $0,0836 \text{ м}^2$). Максимальна абсолютна різниця зафіксована за N_{90} : $0,1030 \text{ м}^2$ (70 см) проти $0,0758 \text{ м}^2$ (45 см), що перевищує показник вузького міжряддя на 35,9%. Це свідчить про критичну роль просторової ізоляції рослин для формування фотосинтетичного апарату.

Графік виявляє синергетичну взаємодію між дозою добрив та шириною міжряддя. Найвищий показник площі листків ($0,1103 \text{ м}^2/\text{роsl.}$) досягається за комбінації N_{120} та 70 см, що на 86,3% перевищує мінімальне значення (N_0 , 45 см). Важливо відзначити, що градієнт зростання для 70 см (кут нахилу кривої $\approx 35^\circ$) істотно вищий, ніж для 45 см ($\approx 28^\circ$), що підтверджує гіпотезу про ефективніше використання азоту в умовах зменшеної конкуренції за світло та ресурси. За доз N_{90} – N_{120} у широкому міжрядді темп приросту площі листків сповільнюється, що може вказувати на початок плато продуктивності.

Отримані залежності пояснюються біологією шавлії. Широке міжряддя забезпечує оптимальну інсоляцію та аерацію, стимулюючи розгалуження пагонів і формування більшої кількості листових пластин. Азот, як структурний компонент хлорофілу та ферментів, підсилює цей ефект шляхом інтенсифікації клітинного поділу та розтягування. Комерційно значущим результатом є те, що комбінація 70 см + N_{120}

забезпечує не лише максимум асиміляційної поверхні, а й, як видно з первинних даних (див. *табл.*), пропорційне збільшення маси сирової надземної маси порівняно з контролем, що є ключовим для медичної сировини.

За дослідження впливу досліджуваних чинників на ростові процеси шавлії лікарської спостерігається прогресивне зростання маси надземної частини рослин упродовж вегетації у всіх варіантах. У травні маса надземної частини не перевищує 2,5–3,6 г/роsl. До червня вона зростає у 7–10 разів відносно травня, а у липні маса надземної частини шавлії вже становила — 33,9–61,6 г/роsl. Найінтенсивніше ростові процеси шавлії відбувалися в травні–липні, далі темпи наростання маси сповільнюються, у вересні максимальні значення 84,6 г/роsl. зафіксовані за ширини міжряддя 70 см та з дозою внесення добрива N_{120} , мінімальні — 46,6 г/роsl. у варіанті із шириною міжряддя 45 см та без внесення добрив (*рис. 2*).

Шавлія лікарська вирощена із широким міжряддям — 70 см демонструє стабільно вищу продуктивність протягом усього сезону порівняно з 45 см. У серпні за внесення азотних добрив у дозі N_{120} із міжряддям 70 см вага сирової надземної маси становить 78,8 г/роsl., перевищуючи варіант із шириною міжряддя 45 см, де вона сягала — 58,1 г/роsl. Ця тенденція зберігається навіть без добрив (N_0): у вересні із шириною міжряддя 70 см вага маси шавлії становила 59,0 г/роsl., а 45 см — лише 46,6 г/роsl. (+26,6%). Різниця між варіантами із різною шириною міжряддя посилюється з додаванням доз азоту та досягає максимуму у вересні.

Внесення азотних добрив істотно прискорює ростові процеси шавлії лікарської. За ширини міжряддя 45 см збільшення дози внесення азотних добрив від N_0 до N_{120} підвищує вагу надземної частини у вересні від 46,6 г/роsl. до 64,3 г/роsl. (+38%). У варіантах із міжряддям 70 см вага надземної частини рослин підвищувалася від 59,0 г/роsl. (N_0) до 84,6 г/роsl. (N_{120}) — приріст 43,4%. Критичний період впли-

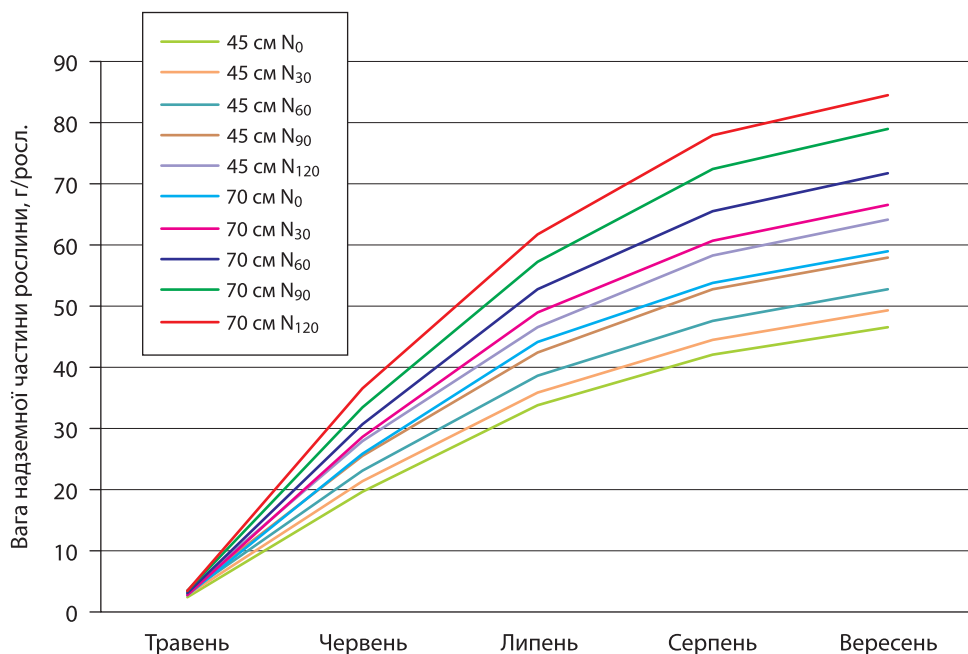


Рис. 2. Динаміка маси сирової надземної маси шавлії лікарської першого року вегетації залежно від міжряддя та дози азотних добрив

ву азоту (липень–серпень), коли різниця між N_0 та N_{120} зростає від 15–20 г/росл. до 25–30 г/росл. на ранніх етапах (травень–червень) добрива менш ефективні через повільне засвоєння азоту молодими рослинами.

Упродовж досліджень найвищі темпи росту рослин було зафіксовано у варіанті із міжряддям 70 см та внесенням добрива в дозі N_{120} . Цей варіант відрізняється прискореною динамікою, в цьому варіанті рослини розвивалися найбільш стрімко порівняно з іншими досліджуваними варіантами. Отримані дані впродовж досліджень підтверджують, що оптимізація густоти стояння (70 см) та інтенсифікація азотного живлення (N_{90} – N_{120}) забезпечують стабільне наростання надземної частини рослин протягом вегетації.

У результаті проведених досліджень встановлено динаміку наростання площі листового апарату шавлії лікарської першого року вегетації залежно від ширини міжряддя та дози азотних добрив. Особли-

ву увагу було приділено впливу ширини міжрядь (45 та 70 см) та доз внесення азотних добрив (від N_0 до N_{120}) на формування асиміляційної поверхні. Всі варіанти дослідження характеризувалися поступовим зростанням площі листків упродовж вегетаційного періоду, що відповідало фазам розвитку рослин і загальній біомасі надземної частини. Починаючи з травня, у варіанті без додавання добрив, площа листків становила 0,0032 м²/росл. за ширини міжряддя 45 см, тоді як з максимальною дозою азоту (N_{120}) і шириною міжрядь 70 см вона збільшилась до 0,0046 м²/росл. Такі значення свідчать про високу чутливість шавлії лікарської до умов мінерального живлення вже на ранніх етапах онтогенезу (рис. 3).

З посиленням дози азотних добрив і ширини міжрядь спостерігалось істотне зростання площі листків, що було особливо виражено в період активної вегетації (червень–липень). У червні показники варіювали в межах від 0,0248 м²/росл. (45 см, N_0) до 0,0473 м²/росл. (70 см, N_{120}), а в

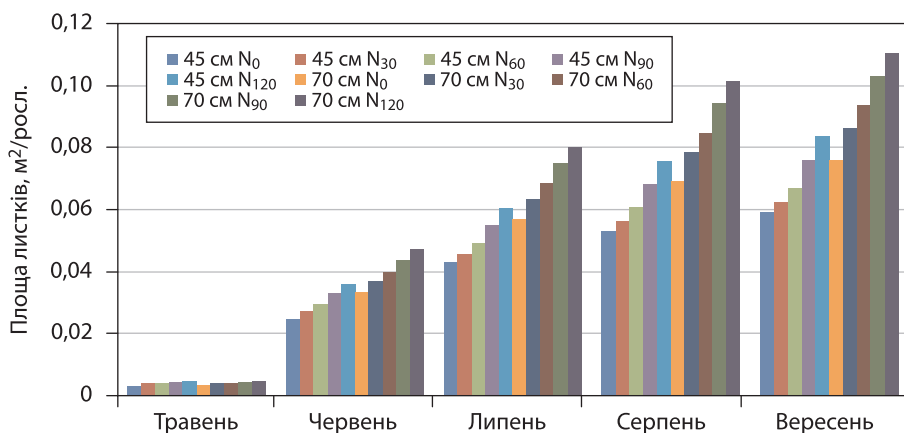


Рис. 3. Динаміка збільшення площі листового апарату шавлії лікарської першого року вегетації, залежно від ширини міжряддя та дози внесення азотних добрив

липні — від 0,0429 до 0,0801 м²/роsl. відповідно. Це свідчить про тісний зв'язок між азотним живленням і процесами листкоутворення. Крім того, у варіантах із ширшим міжряддям відзначено кращу освітленість нижніх ярусів рослин, що сприяло розвитку додаткових пагонів і листової поверхні. Зокрема, у липні площа листків у варіанті з 70 см міжряддям та внесенням N₁₂₀ перевищувала показник варіанта з 45 см міжряддям і тією самою дозою добрив на 32,9%.

Найвищі абсолютні значення площі листового апарату були зафіксовані у вересні — від 0,0592 м²/роsl. у контролі до 0,1103 м²/роsl. у варіанті з максимальною шириною міжряддя і дозою азоту. До того ж варто відзначити, що темпи приросту площі листків поступово знижувалися в серпні — вересні, що відповідає природному зменшенню інтенсивності вегетативного росту та накопичення вторинних метаболітів. Така закономірність зумовлена зниженням активності фотосинтетичного апарату у пізні періоди вегетації, що є типовим для багаторічних ефіроолійних культур. Тому, отримані результати свідчать про важливу роль азотного живлення та ширини міжряддя у регуляції листоутворення шавлії лікарської, що безпосередньо впливає на формування врожаю та якості лікарської

сировини. Збалансоване внесення азоту в поєднанні з оптимальним міжряддям може бути ефективним засобом підвищення продуктивності культури та стабілізації фітомаси за умов інтенсивного вирощування.

За результатами дослідження встановлено поступове й закономірне збільшення висоти рослин від травня до вересня у всіх варіантах досліді, що вказує на активний ріст шавлії лікарської в умовах достатнього азотного живлення. Найменші показники висоти спостерігалися у травні (2,2–3,0 см), тоді як у вересні рослини сягали висоти 27,6–37,0 см, залежно від досліджуваного варіанта (рис. 4; 5).

Згідно з отриманими даними, внесення азотних добрив позитивно впливало на висоту рослин. За ширини міжряддя 45 см у вересні найвищі рослини були у варіанті з внесення добрива з дозою N₁₂₀ — 37,0 см, що перевищувало контроль (N₀ — 30,8 см) на 6,2 см. Аналогічна тенденція спостерігалась і за ширини міжряддя 70 см: внесення азоту в дозі N₁₂₀ забезпечило приріст висоти до 33,2 см проти 27,6 см на контролі. Це свідчить про те, що азотне живлення є критичним чинником для інтенсифікації вегетативного росту шавлії лікарської.

Ширина міжряддя також впливала на висоту рослин хоча менш істотно, ніж азотні добрива. Загалом за однакових доз

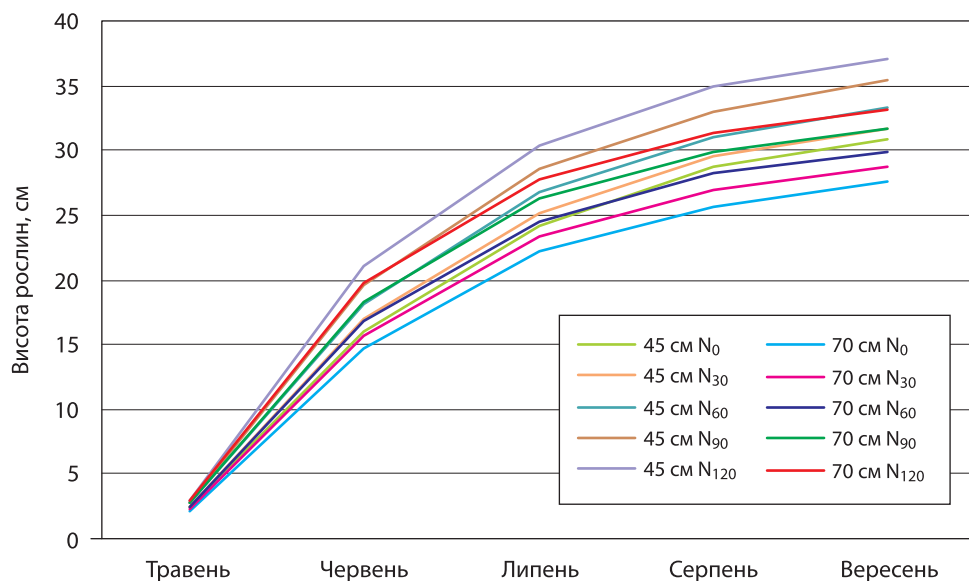


Рис. 4. Динаміка висоти рослин шавлії лікарської першого року вегетації залежно від ширини міжряддя і рівня азотного живлення



Контроль (без внесення добрива)



Внесення азоту в дозі 120 кг/га

Рис. 5. Вплив азотного добрива на ріст та розвиток шавлії лікарської

добрив більші значення висоти простежувалися у варіантах із міжряддями 45 см, порівняно з 70 см. У вересні за внесення N_{60} висота рослин за ширини 45 см становила 33,3 см, тоді як за ширини 70 см — 29,9 см. Це може пояснюватися більшою щільністю стояння рослин і, відповідно, конкуренцією за світло, що стимулює вертикальний ріст у щільніших посівах.

Тому, результати дослідження стверджують про значний вплив дози азотних добрив на висоту рослин шавлії лікарської, тоді як вплив ширини міжряддя виявився менш істотним. Найбільш інтенсивне зростання спостерігалось в червні — липні, після чого ріст уповільнювався, що узгоджується з природним циклом розвитку культури. Оптимальне поєднання ширини

міжрядь та дози азоту допомагає ефективно регулювати морфогенез шавлії, забезпечуючи формування добре розвинуеного надземного стеблового апарату.

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень встановлено, що ширина міжрядь і рівень азотного живлення істотно впливають на ріст і розвиток шавлії лікарської у перший рік вегетації. Оптимізація ширини міжряддя і живлення азотом допомагає значно покращити біометричні показники культури, включаючи висоту, площу листового апарату, масу сирій надземної частини та масу коренів. Зокрема, найбільші значення цих показників зафіксовані у варіанті з шириною міжрядь 70 см і внесенням азотних добрив у дозі 120 кг/га: вага надземної частини досягла 84,6 г, площа листків — 0,1103 м²/росл., а маса сирого кореня — 21,1 г/росл.

Позитивна реакція шавлії лікарської на поєднання ширших міжрядь та інтенсивного азотного живлення пояснюється покращеними умовами освітлення та зменшенням конкуренції між рослинами, що

сприяє активнішому розвитку як надземної, так і підземної частин. У варіантах із вужчим міжряддям (45 см) за аналогічного рівня добрив ріст також був інтенсивним, однак показники були дещо нижчими, що підтверджує перевагу більшого простору для індивідуального розвитку рослин.

Отже, застосування агроприйому із шириною міжрядь 70 см та внесенням 120 кг/га азотних добрив є доцільним з точки зору досягнення високої продуктивності шавлії лікарської. Отримані результати мають практичну цінність і можуть бути використані для вдосконалення агротехнологій вирощування цієї культури в умовах Лісостепу України, забезпечуючи формування максимальної біомаси та ефективного асиміляційного апарату.

Автор щиро вдячний Дослідній станції лікарських рослин Інституту агроекології і природокористування НААН, зокрема Приведенюку Н.В., канд. с.-г. наук, та Глущенко Л.А., канд. біол. наук, за науково-методичну допомогу і сприяння в організації та проведенні експериментальних досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Jasicka-Misiak, I., Poliwoda, A., Petecka, A., & Wiczorek, P. (2018). Antioxidant phenolic compounds in *Salvia officinalis* L. and *Salvia sclarea* L. *Journal of Ecological Chemistry and Engineering S.*, 25(1), 133–142. DOI: <https://doi.org/10.1515/eces-2018-0009>.
2. Shanaida, M., Hudz, N., Korzeniowska, K., & Wiczorek, P. (2018). Antioxidant activity of essential oils obtained from aerial part of some Lamiaceae species. *International Journal of Green Pharmacy*, 12(3), 200–204. DOI: <https://doi.org/10.22377/ijgp.v12i03.1952>.
3. Трач А., & Конечна Р. (2023). *Salvia officinalis*. Аналітичний огляд літератури. *Сучасна медицина, фармація та психологічне здоров'я*, 1(10), 92–99. DOI: <https://doi.org/10.32689/2663-0672-2023-1-11>.
4. Тимошенко, О. М., Кухнюк, О. В., Глущенко, Л. А. (2024). До питання перспектив використання дикорослих видів роду *Thymus* L. як джерела біологічно активних речовин. *Перспективні напрямки наукових досліджень лікарських та ефіроолійних культур: матеріали VI Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених* (с. 179–182). Київ: ТОВ «Центр поліграфії «КОМПРИНТ». DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11119087>.
5. Кутько, С. П., Работягов, В. Д., Орел, Т. И., & Федорчук, М. И. (2004). Шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.). Биология, биохимия и технология возделывания в условиях Предгорной зоны Крыма. Ялта: НБС.
6. Ніженковська, І. В., Цуркан, О. О., & Седько, К. В. (2014). Шавлія лікарська — сучасні аспекти застосування (Огляд літератури). *Фітотерапія. Часопис*, 2, 58–61.
7. Федорчук, М. И., Работягов, В. Д., & Кутько, С. П. (2007). Шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.) эколого-биологические особенности и хозяйственно ценные признаки. Херсон: Айлант.
8. Тимошенко, О. М. (2025). Ґрунтові та агрохімічні умови вирощування шавлії лікарської. *Збалансоване природокористування: традиції, перспективи та інновації* (Част. 2, с. 154–155). Київ: ДІА. DOI: <https://doi.org/10.32782/978-617-7785-74-2>.
9. Якубенко, Б. Є., Біленко, В. Г., Лікар, Я. О., & Лупша, В. І. (2021). *Лікарські рослини: технологія вирощування та використання*. Київ: Компрінт.
10. Федорчук, М. И. (2008). *Шавлія. Ботанічна, морфолого-біологічна характеристика та технологія вирощування в умовах півдня України: моногр.* Херсон: Айлант.

11. Белов, Я. В. (2012). Ефективність застосування мікробіологічних препаратів для підвищення урожайності та якості сировини багаторічних лікарських рослин. *Лікарське рослинництво: від досвіду минулого до новітніх технологій: матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф.* (с. 3–6). Полтава: Видавництво Полтавської державної аграрної академії. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/node/1239/6-9.pdf>.
12. Кутько, С. П., Работягов, В. Д., & Орел, Т. И. (2009). Содержание эфирного масла у шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.) в Предгорной зоне Крыма. *Тр. ГБС РАН*, 186, 255–259.
13. Ушкаренко, В. О., & Федорчук, М. І. (2008). *Рекомендації з технології вирощування шавлії лікарської на зрошуваних землях півдня України*. Херсон: Айлант.
14. Мудрак, Г. В., & Вдовиченко, І. П. (2017). Аналіз науково-методичних засад оцінки придатності земель спеціальних сировинних зон екологічним вимогам. *Сільське господарство та лісівництво: Зб. наук. пр. Вінницького національного аграрного університету*, 6(2), 129–140. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/agf_2017_6\(2\)_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/agf_2017_6(2)_17).
15. Федорчук, М. І., Комир, З. В., Альохін, А. А., & Альохіна, Н. М. (2002). Оногенез *Salvia officinalis* L. *Таврійський науковий вісник*, 21, 27–32.
16. Солодовниченко, Н. М., Журавльов, М. С., & Ковальов, В. М. (2001). *Лікарська рослинна сировина та фітопрепарати: посіб. з фармакогнозії з основами біохімії лікар. рослин*. Харків: НФАУ: Золоті сторінки.
17. Федорчук, М. І., Коковіхін, С. В., Каленська, С. М., Рахметов, Д. Б., & Федорчук, В. Г. (2017). *Агро-технологічні аспекти вирощування технологічних культур в умовах півдня України*. Херсон: ФОП Бояркін Д.М.
18. Fernandes-Sestelo, M., & Carrillo, J. M. (2020). Environmental effects on yield and composition of essential oil in wild populations of spike lavender (*Lavandula latifolia* Medik.). In *Agriculture*, 10, 626. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10120626>.
19. Федорчук, М. І. (Ред.). (1997). *Фитомониторинг в растениеводстве*. Херсон: ХГТ.
20. Mohammad, S. M. (2011). A Study on Sage (*Salvia officinalis*). *Journal of Applied Sciences Research (TJASR)*, 7(8), 1261–1262. URL: https://www.researchgate.net/publication/296921016_A_study_on_sage_Salvia_Officinalis.
21. Тимошенко, О. М., & Приведенюк, Н. В. (2024). Особливості формування продуктивності шавлії лікарської за несприятливих погодних умов. *Збалансоване природокористування: традиції, перспективи та інновації* (Част. II, с. 129–131). Київ: ДІА. URL: https://drive.google.com/file/d/1ITefkeeZmMA3T4_GoyrNckWkPQoOZzeC/view.

Стаття надійшла до редакції журналу 15.07.2025

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ЖИВИЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ *IN VITRO*

Т.М. Купріянова, Н.В. Макарчук, В.М. Мирончук

Інститут картоплярства НААН (с. Немішаєве, Бучанський р-н, Київська обл., Україна)

e-mail: kyptm@meta.ua; ORCID: 0000-0002-1039-9348

e-mail: kyptm@meta.ua; ORCID: 0000-0001-6852-0959

e-mail: kyptm@meta.ua; ORCID: 0009-0003-9541-6665

Метою дослідження було вивчити морфометричні показники рослин картоплі в культурі *in vitro* за використання знижених концентрацій агар-агару в живильному середовищі Мурасіге–Скуга в модифікації Інституту картоплярства НААН. Дослідження проводили в відділі біотехнології та біотехнічних систем Інституту картоплярства НААН. Об'єктом досліджу були меристемні рослини сортів картоплі селекції Інституту картоплярства НААН Скарбниця, Фотинія, Містерія, Мирослава, Княгиня, Житниця, Солоха, Родинна. За результатами виконаних досліджень встановлено можливість вирощування рослин картоплі в культурі *in vitro* за концентрації агар-агару в живильному середовищі, зниженою до 4,5 г/л. У цьому варіанті досліді не виявлено достовірних відмінностей із контрольним варіантом як за висотою, так і за кількістю сформованих листків. Під час здійснення дисперсійного аналізу отриманих результатів визначено достовірність відмінностей за висотою рослин, як між різними генотипами, так і між різними концентраціями агар-агару в живильному середовищі. Концентрація агар-агару мала максимальний вплив на мінливість висоти меристемних рослин картоплі. Встановлено, що максимальна дія на мінливість кількості листків на рослину мав генотип (73,5%), вплив складу живильного середовища був лише 7,8%, а взаємодії чинників — 18,7%. Середня кількість листків на одну рослину картоплі у варіанті досліді з концентрацією агар-агару 4,5 г/л і в контрольному варіанті (7 г/л) достовірно переважала середню кількість листків у варіанті з концентрацією 3 г/л. Між варіантами з концентрацією агар-агару 4,5 та 7,0 г за цим показником достовірних відмінностей не виявлено, так само як і за показником висоти рослин. Середня кількість листків становила 5,52 шт. відповідно. На морфометричні показники меристемних рослин картоплі також впливають генетичні особливості сорту, тому використання живильного середовища зі зниженою концентрацією агар-агару рекомендовано після вивчення реакції кожного конкретного сорту на зміну даного чинника.

Ключові слова: меристемні рослини, мікроклональне розмноження, мінібульби, насінництво, склад живильного середовища.

ВСТУП

Картопля (*Solanum tuberosum* L.) є третьою за важливістю культурою у світі після рису та пшениці, і це одна з найефективніших продовольчих культур, яка дає більше врожаю, харчової клітковини, високоякісного білка, мінералів та вітамінів, ніж пшениця, кукурудза й рис на одиницю площі, і визнана стабільною продовольчою культурою. Тому важливо розробити систематичний протокол для виробництва насінневого матеріалу у великих масштабах. З огляду на такі умови, концепція ефективної та відтворюваної системи регене-

рації *in vitro* у поширених сортів картоплі має вирішальне значення для виробництва високоякісного насінневого матеріалу у великих масштабах [1].

Метою дослідження є вивчити морфометричні показники рослин картоплі в культурі *in vitro* за використання знижених концентрацій агар-агару в живильному середовищі Мурасіге–Скуга в модифікації Інституту картоплярства НААН.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Теоретико-методичні та практичні аспекти мікроклонального розмноження

картоплі висвітлено в працях українських учених, зокрема, А.А. Подгаєцький [2], В.В. Мацкевич [3]. Основним шляхом збільшення виробництва картоплі та ефективності картоплярства в усіх категоріях господарств є сортове сертифіковане насінництво. Саме від якості насіннєвого матеріалу залежить велика частина врожайності. Дослідженнями Г.С. Балашової [4], встановлено, що зниження врожайності в результаті збільшення зараження найшкодочиннішими вірусами Y, X, віроїдом веретеноподібності бульб може сягати 80%. Тому, для отримання високих стійких урожаїв великої важливості набуває застосування повністю оздоровленого високопродуктивного насіннєвого матеріалу картоплі.

Однією з основних причин низької продуктивності картоплі є використання неякісного насіннєвого матеріалу, і наразі державні та приватні господарства з виробництва насіння країни нездатні задовольнити повністю потребу в якісному насінні. Для подолання цього значного розриву необхідна широкомасштабна інтеграція традиційних та швидких методів розмноження, як-от мікророзмноження, на комерційному рівні для одержання достатньої кількості оздоровлених насіннєвих бульб за мінімальний проміжок часу.

Сучасна система безвірусної насіннєвої картоплі на першому етапі включає групу біотехнологічних методів, основний з яких — отримання з апікальної меристеми вільних від інфекції рослин та їх розмноження *in vitro*. Цей етап є найбільш затратним у первинному насінництві картоплі. Одним із найдорожчих компонентів живильного середовища для мікроклонального розмноження картоплі є агар-агар, що отримують шляхом екстрагування з червоних і бурих водоростей і який утворює в розчинах щільну структуру. До того ж у промислових масштабах виробляють сотні тисяч меристемних рослин картоплі на рік. Тому, дедалі більшої актуальності набуває питання оптимізації та підвищення ефективності процесу виробництва рослин картоплі *in vitro* з метою зниження собівартості насіннєвої картоплі.

У працях зарубіжних вчених М. Dalleh [5], N.A. Campos [6], S.R. Tara [7] зазначається, що успіх біотехнології картоплі залежить від декількох чинників, включаючи ефективну систему культури тканин для регенерації рослин із культивованих клітин і тканин. У багатьох дослідженнях повідомляється, що часто більша частина процесу культивування тканин є специфічною для конкретного сорту. Тому необхідно розробити спеціальний протокол для кожного досліджуваного генотипу. Успіх культури картоплі *in vitro* залежить від експланта, живильного середовища та комбінації і концентрації регуляторів росту рослин (PPP) у живильному середовищі [8].

М. Cioloca [9] у своїх працях акцентує увагу на методах культивування *in vitro*, які є найперспективнішою альтернативою для отримання оздоровлених рослин та мінібульб картоплі.

За даними А.А. Бондарчука, Ю.Я. Верменко, В.Б. Рязанцева та ін. [11] виробництво добазових насіннєвих бульб картоплі з вкорінених стеблових живців також є найпростішим і найдешевшим способом розмноження насіннєвих бульб картоплі. Стеблові живці мають швидший потенціал регенерації та відповідають типу. Їхня здатність до швидкої регенерації дає їм великий потенціал для збереження клонів картоплі та виробництва насіння картоплі. Якщо вкорінені верхівкові стеблові живці походять із бульб відповідного типу та вільних від патогенів, стеблові живці слугують ефективним засобом виробництва добазового насіння за умови дотримання суворих методів управління, як-от аеропоніка [10–13].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили у відділі біотехнології та біотехнічних систем Інституту картоплярства НААН. Об'єкт дослідження — рослини картоплі *in vitro* восьми сортів селекції Інституту картоплярства НААН: Скарбниця, Фотинія, Містерія, Мирослава, Княгиня, Житниця, Солоха і Родинна.

Скарбниця — ранньостиглий, столового призначення. Врожайність: 16,0 т/га на 40–45 день після сходів, 45,0 т/га наприкінці вегетації. Вміст крохмалю 15,0–16,0%. Споживчі якості 8,3 бала. Стійкий проти звичайного патотипу раку, фітофторозу листків, кільцевої і мокрої бактеріальної гнилей, іржавої плямистості бульб, сухої фузаріозної гнилі. Морфологічні ознаки: бульби овальні, з неглибокими вічками, кремові, м'якоть світло-жовта, віночок квітки світло-, червоно-фіолетовий. Рекомендовані зони вирощування: Полісся, Лісостеп.

Фотинія — середньостиглий, столового призначення. Врожайність 50,0–70,0 т/га наприкінці вегетації. Вміст крохмалю 16,0–17,0%. Споживчі якості 8,5 бала. Стійкий проти раку картоплі, стеблової нематоди, мокрої бактеріальної гнилі та парші звичайної. Морфологічні ознаки: бульби червоні, видовжено-овальної форми, м'якоть білого кольору. Рекомендовані зони вирощування: Лісостеп.

Містерія — середньостиглий, столового призначення. Врожайність 60,0 т/га наприкінці вегетації. Вміст крохмалю 15,5–16,0%. Споживчі якості 8,4 бала. Стійкий проти раку картоплі, фітофторозу, стеблової нематоди, альтернаріозу. Морфологічні ознаки: бульби округло-овальні, фіолетові, м'якоть жовта, квітки червоно-фіолетові. Рекомендовані зони вирощування: Полісся.

Мирослава — середньостиглий, столового призначення. Врожайність 50,0–60,0 т/га наприкінці вегетації. Вміст крохмалю 17,2%. Споживчі якості 8,2 бала. Стійкий проти звичайного патотипу раку і золотистої картопляної цистоутворювальної нематоди, альтернаріозу, стеблової нематоди. Морфологічні ознаки: бульби рожеві, овальної форми, м'якоть світло-жовтого кольору. Рекомендовані зони вирощування: Полісся, Лісостеп.

Княгиня — середньостиглий, столового призначення. Врожайність 68,0 т/га наприкінці вегетації. Вміст крохмалю 14,2–15,1%. Споживчі якості 8,0 бала. Стійкий проти звичайного патотипу раку і золотистої картопляної цистоутворювальної нематоди, фітофторозу, стеблової нематоди. Мор-

фологічні ознаки: бульби світло-рожеві, округлої форми, м'якоть жовтого кольору, квітки червоно-фіолетові. Рекомендовані зони вирощування: Полісся, Лісостеп.

Житниця — ранньостиглий, столового призначення. Врожайність 50,0–60,0 т/га наприкінці вегетації. Вміст крохмалю 17,2%. Споживчі якості 8,1 бала. Стійкий проти звичайного патотипу раку, фітофторозу листків та бульби, мокрої бактеріальної гнилі, парші звичайної. Морфологічні ознаки: бульби видовжено-овальні, рожеві, м'якоть кремова. Рекомендовані зони вирощування: Полісся, Лісостеп.

Солоха — середньостиглий, столового призначення. Врожайність 38,0 т/га наприкінці вегетації. Вміст крохмалю 19,2%. Споживчі якості 8,4 бала. Стійкий проти картопляної нематоди, парші звичайної, раку картоплі. Морфологічні ознаки: бульби темно-фіолетові, округло-овальної форми, м'якоть темно-фіолетового кольору, квітки білі. Рекомендовані зони вирощування: Лісостеп.

Родина — середньостиглий сорт, столового призначення. Врожайність наприкінці вегетації — 44,5 т/га. Вміст крохмалю 17,0–18,5%; 19,2%. Споживчі якості 8,3 бала. Стійкий до стеблової нематоди, звичайного патотипу раку, фітофторозу листків, альтернаріозу, відзначається підвищеною стійкістю до кільцевої та мокрої бактеріальної гнилей і вірусних хвороб. Морфологічні ознаки сорту: бульби рожеві, овальної форми, з середніми вічками, м'якоть біла, квітки червоно-фіолетові.

Розмноження вихідних оздоровлених рослин проводилося на агаризованому середовищі Мурасіге–Скуга з подальшим складом маточних розчинів: макроелементи, г/л — NH_4NO_3 — 12,5; KNO_3 — 11,0; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 7,7; KH_2PO_4 — 9,7; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ — 11,0 та мікроелементи, мг/л — KI — 0,083; H_3BO_3 — 0,62; $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ — 2,23; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,86; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — 0,025; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ — 0,0025; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ — 0,0025. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 2,8; Na_2EDTA (трилон Б) — 3,72; B_1 1:1 — 0,025; B_6 1:1 — 0,025; Віт. С 1:1 — 0,025; ІОК 1:4 — 0,025; Аденін — 0,025. Під час

приготування 1 л живильного середовища використовувалося 100 мл макросолей та 5 мл мікросолей. Розживцьовані рослини-регенеранти картоплі висаджували на поживних середовищах, що різняться за вмістом агар-агару. Після відростання пробіркових рослин до утворення 4–6 листочків їх витягали з пробірки і живцювали в чашці Петрі. Всі операції з живцювання проводили в ламінарному боксі. За живцювання в стерильному боксі рослини пінцетом діставши із пробірок на простерилізовану чашку Петрі й гострим скальпелем розрізали на живці, кожен з яких включає частину стебла з листочком і пазуховою брунькою. Верхня частина стебла над листочком в 2–3 рази коротша нижньої частини під листком. Живці потім переносились у пробірки з живильним середовищем на глибину міжвузля так, щоб пазухова брунька живця була дещо вище рівня середовища, і закривали пробірки ватно-марлевою пробкою. Інструменти і чашки Петрі стерилізували перед живцюванням кожної рослини. Рослини живцювали на сегменти з одним міжвузлям і висаджували на живильне середовище в пробірки діаметром 2 см з концентрацією агар-агару відповідно до варіантів дослідів. Після пробірки виставляли у штативах на стелажі в кліматичній кімнаті та культивували за 16-годинного фотоперіоду з температурою 22–24°C, інтенсивністю освітлення 2–5 тис. люкс люмінесцентними лампами та відносною вологістю 70–80%. У культурі ізольованих тканин і органів для одержання напіврідких живильних середовищ використовується агар-агар у концентрації 0,3–0,7% (3–7 г/л). Для мікроклонального розмноження рослин картоплі застосовується концентрація 0,7% (7 г/л). Схема дослідів включала три варіанти:

1. Середовище Мурасіге–Скуга в модифікації Інституту картоплярства НААН, концентрація агар-агару 3 г/л.

2. Середовище Мурасіге–Скуга в модифікації Інституту картоплярства НААН, концентрація агар-агару 4,5 г/л.

3. Середовище Мурасіге–Скуга в модифікації Інституту картоплярства НААН,

стандартна концентрація агар-агару 7 г/л (контроль).

На кожному з варіантів вирощували по 20 рослин зазначених сортів у 3-й повторності. Під час дослідження вимірювали показники, що характеризують розвиток рослин: висота рослин і кількість листків на одну рослину відповідно до загальноприйнятої методики [14–16]. Останній показник важливий для оцінки кількості живців, які можуть бути отримані з однієї рослини і, отже, для подальшого прогнозування коефіцієнта розмноження.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Двофакторний дисперсійний аналіз отриманих результатів виявив достовірність відмінностей за досліджуваними показниками, як між різними генотипами, так і між різними концентраціями агар-агару в живильному середовищі. Максимальний вплив на мінливість висоти рослин чинила концентрація агар-агару у живильному середовищі. Внесок цього чинника у варіювання ознаки становив 52,0%, тоді як внесок генотипу був 18,1%, а взаємодія зазначених чинників — 29,9%. Проведеними дослідженнями встановлено, що середня висота рослин картоплі у варіанті дослідів з концентрацією агар-агару 4,5 г/л і в контрольному варіанті (7 г/л) достовірно перевершувала висоту рослин у варіанті з концентрацією агар-агару 3 г/л. До того ж між варіантами 2 і 3 за цим показником достовірних відмінностей не виявлено, середня висота рослин становила 5,45 і 5,57 см відповідно (табл. 1).

Аналіз висоти рослин за сортами так само виявив у більшості з них достовірну перевагу цього показника у варіантах 2 (4,5 г/л) і 3 (контроль) над варіантом 1 (3 г/л) і відсутність достовірних відмінностей між варіантами 2 і 3.

Однак у сортів Містерія, Княгиня і Родинна встановлено специфічну реакцію на зміну концентрації агар-агару.

Так, висота рослин сорту Містерія була достовірно вищою за концентрації агар-агару 4,5 г/л, сорту Княгиня — навпаки,

Таблиця 1. Висота рослин картоплі *in vitro* залежно від сорту та концентрації агар-агару в живильному середовищі

Сорт	Висота рослин за різної концентрації агар-агару, см			
	3 г/л	4,5 г/л	7 г/л	середнє по сорту
Скарбниця	4,45	6,61	6,14	5,73
Фотинія	3,65	4,26	4,95	4,29
Містерія	3,00	6,63	5,18	4,94
Мирослава	3,59	5,64	4,77	4,67
Княгиня	2,75	5,77	8,15	5,56
Житниця	3,55	5,32	5,99	4,95
Солоха	2,89	5,88	5,11	4,63
Родинна	3,88	3,53	4,30	3,90
Середнє за концентраціями	3,47	5,45	5,57	

Примітки: НІР₀₅ по фактору А (сорт) 0,55 см; НІР₀₅ по фактору В (концентрація агар-агару) 0,33 см.

в контрольному варіанті, а рослини сорту Родинна достовірно не різнилися за цим параметром в усіх варіантах досліду.

Отже, попередньо виявлено, що зниження концентрації агар-агару в живильному середовищі до 4,5 г/л загалом не впливає на інтенсивність росту меристемних рослин картоплі, але використовувати таке середовище можливо тільки після вивчення реакції кожного конкретного сорту.

Аналогічні результати отримано за оцінювання кількості листків на одну рослину. Однак максимальний вплив на мінливість ознаки в цьому випадку мав генотип (73,5%), склад живильного середовища

був лише 7,8%, а взаємодії чинників — 18,7%. Так, найвищою кількістю листків на рослину характеризувався сорт Скарбниця в усіх досліджуваних варіантах. Відповідно показник становив 6,29 шт. на варіанті з концентрацією агар-агару 3 г/л, 6,77 шт. на варіанті з концентрацією агар-агару 4,5 г/л та 6,65 шт./роsl. на варіанті з концентрацією агар-агару 7 г/л. Слід відмітити, що найнижчою кількістю листків на рослину поміж досліджуваних сортів характеризувався сорт Родинна з середнім показником за варіантами досліду 4,30 шт./роsl. У решти досліджуваних сортів цей показник коливався в межах 4,98–5,89 шт./роsl. (табл. 2).

Таблиця 2. Кількість листків у рослин картоплі *in vitro* залежно від сорту та концентрації агар-агару в живильному середовищі

Сорт	Кількість листків за різної концентрації агар-агару, шт.			
	3 г/л	4,5 г/л	7 г/л	середнє по сорту
Скарбниця	6,29	6,77	6,65	6,57
Фотинія	5,40	5,50	5,61	5,50
Містерія	4,95	6,55	6,17	5,89
Мирослава	5,50	5,36	5,13	5,33
Княгиня	4,04	5,65	5,24	4,98
Житниця	5,21	5,28	5,80	5,43
Солоха	4,83	4,96	5,28	5,03
Родинна	4,50	4,13	4,28	4,30
Середнє за концентраціями	5,09	5,52	5,52	

Примітки: НІР₀₅ по фактору А (сорт) 0,35 шт.; НІР₀₅ по фактору В (концентрація агар-агару) 0,21 шт.

Середня кількість листків на одну рослину картоплі у варіанті дослід з концентрацією агар-агару 4,5 г/л і в контрольному варіанті (7 г/л) достовірно переважала середню кількість листків у варіанті з концентрацією 3 г/л. Між варіантами 2 і 3 за цим показником достовірних відмінностей не виявлено, так само як і за показником висоти рослин. Середня кількість листків становила 5,52 і 5,52 шт. відповідно.

У жодного із сортів не виявлено достовірної відмінності за кількістю листків у варіантах 4,5 г/л і 7 г/л (контроль). Окрім того, сорти Скарбніця, Фотинія, Мирослава, Житиця, Солоха і Родинна не мали значущих відмінностей за цим показником у всіх трьох варіантах дослід, а сорти Містерія і Княгиня сформували достовірно меншу кількість листків у варіанті 1 (концентрація агару 3 г/л).

Одержані результати потребують подальшого вивчення, зокрема встановлення впливу різних концентрацій агар-агару в живильному середовищі на ріст та розвиток рослин сучасних сортів картоплі. Сортові особливості в умовах *in vitro* також впливають на ріст і розвиток листків, кількість та довжину міжвузлів, товщину стебла, утворення і ріст коренів, початок й інтенсивність столоно- та бульбоутворення. Тому для кожного сорту, гібрида чи нової лінії необхідно буде оптимізувати

умови вирощування *in vitro* на кожному етапі мікроклонального розмноження, на підставі чого розробляти індивідуальні технології.

ВИСНОВКИ

Тому, експериментально встановлено можливість вирощування рослин картоплі в культурі *in vitro* за концентрації агар-агару в живильному середовищі, зниженою до 4,5 г/л. У цьому варіанті дослід не виявлено достовірних відмінностей із контрольним варіантом як за висотою, так і за кількістю сформованих листків. Концентрація агар-агару мала максимальний вплив на мінливість висоти меристемних рослин картоплі. На ріст і розвиток меристемних рослин картоплі також впливають генетичні особливості сорту, тому використання живильного середовища зі зниженою концентрацією агар-агару рекомендовано після вивчення реакції кожного конкретного сорту на зміну цього чинника.

Отримані результати свідчать про перспективність подальших досліджень у цьому напрямі. Детальне вивчення механізмів впливу різних концентрацій агар-агару на морфометричні показники меристемних рослин картоплі та підвищення коефіцієнта їх розмноження матиме важливе теоретичне й практичне значення в насінницькому процесі картоплі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sharde, R., Tripathi, M. K. & Bhatt, D. (2024). Influence of Plant Growth Regulators on *In Vitro* Morphogenesis in Sprout Culture of Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Res.*, 67, 399–420. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-023-09640-w>.
2. Подгаєцький, А. А., Мащкевич, В. В. & Подгаєцький, А. А. (2018). Особливості мікроклонального розмноження видів рослин. Біла Церква: БНАУ
3. Мащкевич, В. В. (2020). Мікроклональне розмноження рослин: введення в культуру. У *Гончарівські читання* (с. 31–32). Суми.
4. Балашова, Г. С., Лавриненко, Ю. О. & Котов, Б. С. (2017). Вплив концентрації сахарози та фітогормонів на процес бульбоутворення картоплі в культурі столонів *in vitro*. *Вісник аграрної науки*, 95(8), 51–55. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk> 201708.
5. Dalleh, M., Borjac, J., Younes, G., Choueiri, E., Chehade, A., & Elbitar, A. (2023). *In vitro* propagation and microtuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) Spunta variety in Lebanon. *Advances in Horticultural Science*, 37(3), 243–253. DOI: <https://doi.org/10.36253/ahsc-13895>.
6. Campos, N. A., Da Silva, G. J., Paula, M. B., Rodrigues, T. B., Rodrigues, L. Z., & Paiva, L. V. (2016). A direct organogenesis protocol from shoot segments of *Solanum tuberosum* cv. Monalisa. *Australian Journal of Crop Science*, 10, 964–968. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.07.p7623>.
7. Tara, S. R., Krishnaprasad, B., & Veena, S. A. (2017). Direct and indirect regeneration of potato cultivar kufri jyoti. *Journal of Biotechnology and Biochemistry*, 3, 31–34. DOI: <https://doi.org/10.9790/264X-03043134>.
8. Mohapatra, P. P., Batra, V. K., Kajla, S. & Poonia, A. K. (2018). *In vitro* multiplication and microtuberization of *Solanum tuberosum* using different Growth Regulators. *Vegetos An International Journal of Plant Research*, 31, 114–122. DOI: <https://doi.org/10.5958/2229-4473.2018.00062.9>.

9. Cioloca, M., Tican, A., Bărbăscu, N., & Popa, M. (2021). Effect of combined growth regulators on *in vitro* multiplication of recalcitrant potato varieties. *Romanian Agricultural Research*, 38, 109–116. DOI: <https://doi.org/10.59665/rar3811>.
10. Alexopoulos, A., & Petropoulos, S. (2021). Tissue culture of potato for seed production. *The potato crop. management, production and food security*. Nova science publishers, 61–90.
11. Бондарчук, А. А., Верменко, Ю. Я., Рязанцев, В. Б., & Рязанцев, М. В. (2016). *Біотехнологія в насінництві картоплі*. Вінниця: Ніланд-ЛТД.
12. Кузьменко, А. М., & Палій, Ю. І. (2018). Управління поливом при вирощуванні мінібульб. *Аграрні технології України*, 2(1), 45–49.
13. Сидоренко, В. П. (2019). Особливості підготовки ґрунту для мінібульб. *Аграрний вісник*, 11(5), 22–26.
14. Бондарчук, А. А., Колтунов, В. А., Олійник, Т. М., Фурдига, М. М., Вишневська, О. В., Осипчук, А. А., ... Захарчук, Н. А. (2019). *Картоплярство: Методика дослідної справи*. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ».
15. Куценко, В. С., Осипчук, А. А., Подгаєцький, А. А., Кононученко, В. В., Бугаєва, І. П., Верменко, Ю. Я., ... Захарчук, Н. А. (2002). *Методичні рекомендації щодо проведення досліджень з картоплею*. Немішаєве: Інтас.
16. Вожегова, Р. А., Лавриненко, Ю. О., & Балашова, Г. С. (2013). *Оздоровлення картоплі в культурі in vitro: науково-методичні рекомендації*. Херсон.

Стаття надійшла до редакції журналу 18.07.2025

ВРОЖАЙНІСТЬ І ЯКІСТЬ КОРЕНЕПЛОДІВ БУРЯКІВ КОРМОВИХ ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТУ В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

В.І. Овчарук, О.В. Овчарук, Ю.М. Євстафієва, М.В. Бабій

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

(м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., Україна)

e-mail: plspg@pdatu.edu.ua; ORCID: 0000-0003-2115-0916

e-mail: ovcharuk.oleh@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1117-962X

e-mail: pp.nika22@ukr.net; ORCID: 0000-0001-5914-893X

e-mail: agroslava2017@gmail.com; ORCID: 0009-0003-3298-9685

Для широкого використання коренеплодів буряків кормових у годівлі тварин та ефективного застосування біологічного потенціалу і природно-кліматичних умов Правобережного Лісостепу України, важливе значення має теоретичне та наукове обґрунтування агротехнічних елементів технології вирощування культури — підбору за врожайністю та якістю сортів і гібридів, встановлення оптимальних строків сівби, густоти рослин у посіві та їх зберігання. Таке поєднання елементів технології вирощування буряків кормових в сучасних умовах ведення господарства, вимагає одержання високої врожайності і якості продукції та економічної ефективності. Врожай коренеплодів буряків кормових визначається вмістом білкових і безазотистих сполук, мінеральних речовин, вітамінів та сухої речовини, яка сягає 12–14,9%, перетравного протеїну — 0,9–1,3%, також за здатністю засвоєння тваринами продукції на рівні 72–78%. Коренеплоди містять близько 75–85% води, яка представлена своєрідним фізіологічним розчином амінокислот, цукрів, солей, органічних кислот, вітамінів та ферментів, 0,1% жиру, 0,9 клітковини, 0,9% золи. Якісний склад коренеплодів залежить не тільки від сорту, але й від ґрунтово-кліматичних умов та елементів сучасної технології вирощування. Для конвеєрного надходження кормів також важливе місце займає зелена маса, яка містить багато каротину, сухої речовини до 14%, протеїну — 3,10, жиру — 0,3, клітковини — 1,6, золи — 2,8%. Врожайність і якість кормових коренеплодів зумовлена впровадженням високопродуктивних новотворених сортів, гібридів та сучасної технології вирощування. Сорти і гібриди буряків кормових за своєю високою врожайністю та якістю продукції, стійкості проти шкідників і хвороб є основними технологічними вимогами, що дасть можливість реалізувати весь комплекс господарсько-біологічних властивостей та природно-кліматичних умов. Сучасні технології вирощування культури неможливі без використання високопродуктивного насіння з високими показниками посівних якостей. До того ж складовими технології, є вдосконалений основний та передпосівний обробіток ґрунту, науково обґрунтована система захисту від хвороб та шкідників, сівба на кінцеву густоту, механізоване збирання, застосування прогресивних заходів заготівлі та зберігання. Базовий і зональний варіанти інтенсивної технології виробництва буряків кормових повністю забезпечуються сучасними сортами й гібридами вітчизняної і закордонної селекції. За належного виконання всіх елементів технології, вони в кінцевому результаті мають досить високі показники продуктивності культури.

Ключові слова: агроценоз, сорт, форма та забарвлення коренеплоду, заглиблення у ґрунт, середня маса, технологія вирощування, густота рослин.

ВСТУП

Основною умовою підвищення ефективності розвитку тваринництва є зміцнення кормової бази та покращання якості

кормів. У зв'язку з цим особлива роль відводиться кормовим коренеплодам, серед яких провідне місце за поживністю належить бурякам кормовим, які найбільш повно відповідають фізіологічним потребам тварин. Вони повноцінні за вмістом

білкових і безазотистих сполук, мінеральних речовин та вітамінів. Використання їх сприяє кращому перетравленню грубих кормів та підвищує продуктивність тварин, дає можливість раціонально збалансувати кормовий раціон тварин за вмістом поживних речовин та поліпшити вуглеводно-протеїнове співвідношення корму. Особливо цінні вони в осінньо-зимовий період, коли тварини відчувають нестачу соковитих кормів.

Метою наших досліджень було дослідити врожайність і якість коренеплодів буряків кормових залежно від сорту в умовах Правобережного Лісостепу України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Даними дослідженнями займалися В.В. Гармашов, Д.С. Стан, Г.І. Демидась, Л.М. Бурко [1–3], де визначили, що кормові буряки мають багато переваг порівняно з іншими кормовими культурами, головною з яких є високий потенціал продуктивності, що може сягати понад 250 т/га.

За поживністю 1 кг буряків кормових становить: коренеплоди — 9 г перетравного протеїну, 0,40 г кальцію і 0,30 г фосфору; гичка — 21 г перетравного протеїну.

Високий коефіцієнт перетравності поживних речовин буряків кормових забезпечує краще засвоєння грубих кормів, що знижує собівартість тваринницької продукції. Також включення в раціон буряків кормових забезпечує нейтралізацію надлишкової кислотності шлункового соку та покращує вуглеводно-протеїнове співвідношення корму [4; 5].

Важливим показником хімічного складу буряків кормових є вміст цукру — 7,0–7,5%; який містить: цукрози (5,0–7,8%), пектину, пектонази (1,0–1,2%), лігніну (1,8%), що відображали у своїх дослідженнях О. Tkach, В. Mazurenko, М. Niemiec. Вміст протеїну незначний — 1,3–1,5%, але він на 40–60% складається з білків, амінів, вільних амінокислот. За поживними якостями вони подібні до протеїнів кормів, куди входять зерно злакових і бобових культур. Також буряки кормові містять у своєму складі

цистин (15,3 мг), аспарагінову кислоту, глютамін, аргінін, аланін [6–9].

Головною вимогою до сучасних сортів буряків кормових є одержання потенціальної врожайності та високий вміст сухих речовин, особливо цукру, з метою забезпечення конкурентоспроможності новостворених гібридів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальну роботу проводили впродовж 2022–2024 рр. відповідно до «Методики державного сорто випробування сільськогосподарських культур», «Методики проведення досліджень з кормовиробництва» та «Методи аналізу в агрономії та агроєкології» [10; 11] згідно з планом науково-дослідної роботи кафедри садівництва і виноградарства Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» в умовах дослідного поля «Групи компаній VITAGRO», яке розміщено с. Криків, Кам'янець-Подільського р-ну, Хмельницької обл.

Погодно-кліматичні умови, які склалися в роки проведення польових досліджень із багаторічними показниками дають можливість підтвердити, що не зважаючи на певні зміни, вони загалом не виходили за межі, які характерні для Правобережного Лісостепу України.

Розмір площі дослідних ділянок — 20 м², облікових — 15 м², повторення варіантів триразове із систематичним розміщенням рослин. Для відбору коренеплодів для аналізів у кожній обліковій ділянці відмічали (маркували) 10 дослідних рослин. Сівбу виконували з напрямків рядків — із півночі на південь. Агротехнічні заходи вирощування буряків кормових застосовували згідно з загальноприйнятими вимогами та технологічними картами розробленими для умов Правобережного Лісостепу України і закладалися у польовій зерно-буряковій сівозміні [12–14].

Агрохімічна характеристика ґрунту дослідного поля. Ґрунт — чорнозем вилугуваний, малогумусний, середньосуглинковий на лесовидних суглинках. Уміст

гумусу (за Тюриним) в шарі ґрунту 0–30 см становить 3,6–4,2%. Вміст сполук азоту, що легко гідролізується (за Корнфілдом) — 98–139 мг/кг (високий), рухомого фосфору (за Чириковим) — 143–185 мг/кг (високий) і обмінного калію (за Чириковим) — 153–185 мг/кг ґрунту (високий). Сума вбірних основ коливається в межах 158–209 мг екв./кг. Гідролітична кислотність сягає 17–22 мг екв./кг, ступінь насичення основами — 90%.

Походження сортів буряків кормових, які внесені до Державного реєстру сортів рослин, придатного для вирощування в Україні, наведено в *табл. 1*.

Таблиця 1. Країна походження сортів коренеплодів буряків кормових

Сорт	Країна створення сорту
Адра (контроль)	Україна
Рекорд Полі Біс	Польща
Агро-Полі	Польща
Жамон	Франція
Маріша	Україна
Славія	Україна
Стармон	Франція
Ольжич	Україна

Під час проведення досліджень використано загальноприйняті методи [10], зокрема польовий — для вивчення продуктивності буряка кормового залежно від сортових форм та рівнів удобрення; лабораторний — для визначення схожості насіння та аналізу якості коренеплодів; агрохімічний — для виявлення вмісту макроелементів живлення в ґрунті; оптичний — для визначення цукристості в коренеплодах; вимірювально-ваговий — для описання біометричних показників рослин та врожайності буряка кормового; статистичний — дисперсійний аналіз та графічне відображення даних за дослідями. Обробку даних здійснювали з використанням програмного забезпечення Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На сучасному етапі сільськогосподарського виробництва важливим чинником

підвищення врожайності коренеплодів буряків кормових та одним із основних агротехнічних заходів є підбір високоврожайних сортів. Створені сорти мають бути екологічно стійкими до певних метеорологічних чинників, умов середовища, зони і року вирощування. Новостворені сорти буряків кормових дають підвищену врожайність у два-три рази. Крім того, біологічна врожайність культури безпосередньо у відповідних умовах показує високі можливості сорту. Також особливе значення мають сорти, які здатні забезпечувати стабільність урожайності та інших цінних ознак за їх мінливості до умов навколишнього середовища.

На основі виконаних експериментальних досліджень встановлено, що врожайність досліджуваних сортів буряків кормових у середньому за роки була різною і коливалась у межах 72,4–102,4 т/га (*табл. 2*).

Показники врожайності коренеплодів буряків кормових характеризуються високою врожайністю. У середньому за три роки досліджень виділяється сорт Рекорд Полі Біс — 109,3 т/га, Адра — 95,6, Жамон — 87,2 і Агро-Полі — 86,6 т/га. Середні показники врожайності коренеплодів отримали від сорту Маріша — 83,4 т/га і Стармон — 83,6 т/га, з нижчими показниками вирізняються сорти Славія — 72,6 т/га і Ольжич — 72,4 т/га.

Аналіз показників врожайності сортів буряків кормових окремо за роки свідчить, що незалежно від сорту кращим виявився 2023 р., який був найкращим для вирощування. Тоді, як 2022 і 2024 рр. були менш сприятливі на погодно-кліматичні умови через недостатню кількість випадання опадів упродовж вегетаційного періоду, що і вплинуло на зниження врожайності коренеплодів на дослідних ділянках.

Основним із показників є морфологічні ознаки коренеплодів буряків кормових, які характеризують господарську цінність продукції, що підтверджує їх ефективність вирощування та оцінку сортів. Морфологічні ознаки визначаються за формою, масою, заглибленням коренеплоду у ґрунт, більшість

Таблиця 2. Країна походження сортів та врожайність коренеплодів буряків кормових, т/га

Сорт	Роки			Середнє за роками	± до контролю
	2022	2023	2024		
Адра (контроль)	91,8	101,4	93,7	95,6	—
Рекорд Полі Біс	110,3	115,8	102,1	109,3	+13,7
Агро-Полі	85,8	86,9	87,2	86,6	−9,0
Жамон	87,7	89,5	84,5	87,2	−8,4
Маріша	84,2	82,7	83,5	83,4	−12,2
Славія	77,4	70,2	70,4	72,6	−23,0
Стармон	80,4	89,1	81,4	83,6	−12,0
Ольжич	75,7	70,4	71,2	72,4	−23,2
НР ₀₅	1,05	2,10	1,75		—

із них відіграють важливе значення для механізованого вирощування і збирання.

Аналізуючи морфологічні ознаки коренеплодів буряків кормових у технічній стиглості сорти мали різну форму, масу і забарвлення (табл. 3).

Так, встановлено, що за формою коренеплоди відрізнялися між собою, у сорту Адра мали циліндричну форму, з середньою масою 4,2 кг із заглибленням у ґрунт до 30% з біло-жовтим забарвленням. Сорти Рекорд Полі Біс і Ольжич — циліндричної форми та заглиблення у ґрунті становило 40%, із забарвленням коренеплоду в першому випадку із рожевим, другому — жовтим кольором, відповідно із середньою масою плоду — 5,0 і 6,0 кг. Сорт Агро-Полі коренеплоди були округлої форми із заглиб-

ленням у ґрунті 70%, з середньою масою — 6,3 кг, червоного забарвлення. Сорти Маріша, Славія та Стармон формували подовжено-конічну форму з масою коренеплодів: 4,4; 8,2 і 5,8 кг із заглибленням у ґрунт до 60% відповідно. Сорти Маріша і Стармон мали поверхню коренеплоду — жовтого, Славія — жовто-коричневого забарвлення. Сорт Жамон циліндричної форми із середньою масою 6,0 кг, жовтого забарвлення коренеплоду із заглибленням у ґрунт до 40%.

Важливим показником, який характеризує властивості коренеплодів буряків кормових зумовлений їх якісним складом та фізико-хімічними властивостями, що відповідають стандарту для годівлі сільськогосподарських тварин, добре сформо-

Таблиця 3. Морфологічні ознаки коренеплодів буряків кормових у технічній стиглості залежно від сорту

Сорт	Ознаки коренеплоду			
	форма	середня маса, кг	заглиблення у ґрунт, %	забарвлення поверхні коренеплоду
Адра (контроль)	Циліндрична	4,2	30–40	Біле
Рекорд Полі Біс	Циліндрична	5,0	40–50	Рожеве
Агро-Полі	Округла	6,3	70–80	Червоне
Жамон	Циліндрична	6,0	40–50	Жовте
Маріша	Подовжено-конічна	4,4	60–70	Жовте
Славія	Подовжено-конічна	8,2	60–70	Жовто-коричнєве
Стармон	Подовжено-конічна	5,8	60–70	Жовте
Ольжич	Циліндрична	6,0	40–50	Жовте

вані без втрати показника — води, накопичення у них сухої речовини, цукрів. Якісні показники також залежали від погоднокліматичних умов року. У роки з підвищеною вологістю, також із внесенням надлишкових норм азотних добрив знижували якісні показники коренеплодів. Нами встановлено, що найінтенсивніше накопичення сухої речовини проходило у літньо-осінній період вегетації, коли нагромаджується в коренеплодах більшість основних поживних речовин.

Отже, результатами експериментальних досліджень виявлено, що вміст води, сухої речовини і загального цукру залежало від біологічних особливостей сорту.

Серед неорганічних речовин у коренеплодах належить вміст води і мінеральних речовин. Вода сприяє розчиненню та обміну в організмі тварин поживних речовин, виділенню продуктів дисиміляції, регулюванню температури тіла. До того ж визначено, що показники вмісту води в коренеплодах залежали від біологічних особливостей сорту, також впливає на біохімічні процеси, що відбуваються в коренеплодах, їхню якість, здатність до зберігання. Достатній вміст води в тканинах коренеплодів сприяє нормальному, інтенсивному перебігу біохімічних та фізіологічних процесів (табл. 4).

Недостатня вологість в ґрунті призводить до порушення цих процесів, внаслідок чого коренеплоди в'януть і втрачають господарську цінність. За допомогою води, яка міститься в коренеплодах розчиняється багато поживних речовин, що покращує їх засвоюваність організмом тварин. З підвищеним показником вмісту води виділяється сорт Адра — 88,0%; Стармон 87,2 і Рекорд Полі Біс — 86,2%. Посереднє місце займають сорти: Агро-Полі — 86,0%; Маріша — 85,3 і Славія 85,2%, з пониженим вмістом — сорти: Жамон — 84,9% і Ольжич — 84,8%.

Важливим показником у коренеплодах буряків кормових є вміст сухої речовини, яка складається з вуглецю (45,0%), кисню (42,0%), водню (6,5%), азоту (1,5–5,0%) і золи (9,5–12,0%), що переважно залежить від біологічних особливостей сорту. З підвищеним вмістом цього показника виділяється сорт Ольжич — 15,2% і Жамон — 15,1%; із середніми показниками сорти: Маріша — 14,7%, Славія — 14,5 та Агро-Полі — 14,0%, з пониженими показниками сухої речовини відмічено у сорту Стармон — 12,8% і Адра — 12,0%.

Визначальним показником цінності коренеплодів буряків кормових є вміст загального цукру, який використовується на нагромадження енергії та жиру, нормаліза-

Таблиця 4. Вплив сорту на зміну основних якісних показників коренеплодів буряків кормових, %

Сорт	Роки						Середнє за роками	
	2022		2023		2024		суха речовина	цукор
	суха речовина	цукор	суха речовина	цукор	суха речовина	цукор		
Адра (контроль)	12,0	15,4	13,0	15,2	11,0	15,0	12,0	15,2
Рекорд Полі Біс	14,0	13,8	13,6	14,0	13,8	13,6	13,8	13,8
Агро-Полі	13,0	17,0	14,0	17,6	15,0	17,3	14,0	17,3
Жамон	15,2	18,3	15,0	18,9	15,1	18,6	15,1	18,6
Маріша	14,7	15,8	14,4	15,0	15,0	15,4	14,7	15,4
Славія	14,0	14,5	15,0	13,5	14,5	14,0	14,5	14,0
Стармон	12,6	17,6	12,8	17,2	13,0	18,0	12,8	17,6
Ольжич	15,2	14,0	15,4	13,0	15,0	13,5	15,2	13,5
НІР ₀₅	1,6	2,1	1,4	2,3	1,5	2,2	—	—

ції мікробіологічних процесів в організмі тварин. За участю нього в організмі синтезуються тваринні вуглеводи, глікоген і лактоза. Вміст загального цукру в коренеплодах із найвищим показником відмічено у сорту Жамон — 18,6%, Стармон — 17,6 і сорту Агро-Полі — 17,3%. Зі зниженими показниками виявлено у сорту Рекорд Полі Біс — 13,8% і Ольжич — 13,5%.

ВИСНОВКИ

Серед сортів буряків кормових із підвищеною врожайністю коренеплодів визначено у сорту Рекорд Полі Біс — 109,3 т/га і сорту Адра — 95,6 т/га. За морфологічними ознаками коренеплодів з найбільшою

середньою масою коренеплоду виділяється сорт Славія — 8,2 кг, сорту Агро Полі — 6,3, Жамон і Ольжич — 6,0 кг.

Якісні показники коренеплодів буряків кормових залежати від сортових особливостей. З підвищеними показниками вмісту загального цукру вирізняються сорт Жамон — 18,6%, Стармон — 17,6 і сорт Агро-Полі — 17,3%, із середніми показниками сорти Маріша — 15,4% і Адра — 15,2%.

Середні показники вмісту сухої речовини за три роки виявлено у сорту Ольжич — 15,2%, Жамон — 15,1%, дещо із нижчими показниками сорти: Маріша — 14,7%, Славія — 14,5 і Жамон — 14,0%.

ЛІТЕРАТУРА

- Гармашов, В. В., & Стан, Д. С. (2014). Особливості фотосинтетичної діяльності рослин кормового буряка залежно від умов вирощування. *Аграрний вісник Причорномор'я*, 71, 1–6.
- Демидась, Г. І., & Бурко, Л. М. (2010). Продуктивність буряків кормових залежно від удобрення у правобережному Лісостепу. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства УААН»*, 34, 183–186.
- Куничак, Г. С., & Кобилянська, Г. М. (2008). Цінність і технологія вирощування кормових буряків. *Пропозиція — головний журнал з питань агробізнесу*, 9, 6–65.
- Мартинюк, І. В. (2006). *Кормові буряки: наукові та прикладні аспекти технології вирощування: моногр.* Київ: Урожай.
- Мартинюк, І. В., Сорока, В. І., & Примах, І. Д. (2002). *Технологія вирощування однонасінних кормових буряків: рекомендації*. Біла Церква: Білоцерківський державний аграрний університет.
- Панасюк, С. С., Слюсар, С. М., & Крамар, О. С. (2024). Особливості сортової агротехніки буряка кормового в умовах Північного Лісостепу. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*, 4(14), 42–51. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2024.04.05>.
- Панасюк, С. С., Крамар, О. С., & Мартинюк, Н. М. (2023). Енергоощадні технології вирощування різних сортів буряку кормового в зоні Лісостепу. *Аграрна освіта і наука: досягнення та перспективи розвитку: матеріали IV міжнародної наук.-практ. конф. (с. 160–161)*. Біла Церква: Білоцерківський національний аграрний університет.
- Присяжнюк, О. І., Присяжнюк, Л. М., Мельник, С. І., & Гринів, С. М. (2022). *Буряки цукрові — селекція, насінництво та технологія вирощування: моногр.* Вінниця: ТОВ «ТВОРИ».
- Malopolska, Yodowla (2019). Roslin-HBP Spolka zo.o. Katalog Produktow. Warszawa.
- Роїк, М. В., Гізбуллін, Н. Г., Сінченко, В. М., & Присяжнюк, О. І. (2014). *Методики проведення досліджень у буряківництві*. Київ: ФОП Корзун Д.Ю.
- Сінченко, В. М., & Пиркін, В. І. (2018). Стратегія розвитку галузі буряківництва в Україні. *Цукрові буряки*, 1(117), 4–8.
- Стоноженко, Р. В. (2022). *Вплив сортових особливостей на продуктивність кормових буряків в Центральній Україні* [Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти: спец. 201 «Агрономія»]. Центральноукраїн. нац. техн. ун-т., Кропивницький.
- Ovcharuk, V. I., Ovcharuk, O. V., & Ievstafieva, I. M. (2024). Фотосинтетична діяльність рослин буряків кормових залежно від сорту в умовах правобережного лісостепу України. *Modern engineering and innovative technologies*, 36(03), 63–71. URL: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit36-03/meit36-03>
- Ovcharuk, V. I., Ovcharuk, O. V., & Ievstafieva, I. M. (2024). Growth and development of pumpkin plants of the usual ukrainian variety (multi-fruit) depending on the times of sowing in the conditions of the right bank forest steppe of Ukraine. *SWorld Journal*, 28-02.

Стаття надійшла до редакції журналу 30.06.2025

ФІТОЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛЕЗАХИСНИХ НАСАДЖЕНЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

В.В. Коніщук¹, В.В. Мартиненко¹, П.М. Душко¹,
Ю.В. Терновий², Ю.А. Кравчук²

¹Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: konishchuk_vasyl@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4115-5642

e-mail: martinenko.vasil@ukr.net; ORCID: 0000-0002-2526-6732

e-mail: Dushko@i.ua; ORCID: 0000-0002-1408-0342

²Скви́рська дослідна станція органічного виробництва ІАП НААН

(м. Сквир, Київська обл., Україна)

e-mail: ternowoj@i.ua; ORCID: 0000-0002-5829-5089

e-mail: doslidna_skvira@meta.ua; ORCID: 0009-0003-6878-7700

Висвітлено комплексний аналіз полезахисних лісових смуг, що розташовані у межах Державного підприємства «Дослідне господарство «Скви́рське» Інституту агроєкології і природокористування НААН». Мета роботи — з'ясувати флористичний склад, синфітосоцологічну та екологічну характеристики полезахисних смуг, а також встановити ступінь участі у збереженні біорізноманіття. Видовий склад представлено 237 видами вищих судинних рослин, які розподілені на 162 роди та віднесені до 55 родин. Синтаксономічна структура полезахисних лісових смуг Лівобережного Лісостепу України охоплює угруповання класу *Robinietea*, з домінуванням порядку *Chelidonio-Robinietalia*. Виокремлено кілька союзів і асоціацій з участю *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Pinus sylvestris*, *Quercus robur*, *Ulmus*, *Fraxinus*, *Tilia cordata* та ін. Вперше запропоновано нові асоціації та субасоціації для типових фітоценозів, що формуються в умовах антропогенно змінених агроландшафтів, з урахуванням участі адвентивних та аборигенних видів. Ширина лісових смуг — від 5 до 25 м. За вертикальною структурою переважають смуги, що становлять двоярусну структуру (особливо за участі *Populus alba* та *Robinia pseudoacacia*), однак є також одноярусні смуги. Еколого-флористичний рівень представленості судинними рослинами є вкрай низьким, однак вони виконують функції біокоридорів, буферних зон і осередків оселення запилювачів, ентомофагів та дрібних ссавців. Наявність кущових порід, як-от *Crataegus monogyna*, *Sambucus nigra*, *Ligustrum vulgare*, забезпечує екологічну стійкість і біотичну привабливість таких смуг для фауни. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення проєктних рішень щодо закладання нових полезахисних смуг, відновлення деградованих ділянок та введення принципів екологічної мережі в агроландшафти. Дослідження також має значення для формування національних програм з адаптації сільського господарства до змін клімату через впровадження природоорієнтованих рішень.

Ключові слова: екологічна оцінка рослинності, біорізноманіття, структура рослинного покриву, видовий склад деревостанів, рослини-індикатори.

ВСТУП

Система захисних лісових насаджень створюється на основі вже існуючих захисних лісів, які потрібно охороняти і використовувати, а також вводити до існуючих у межах агроландшафтів всю сукупність насаджень, яких не вистачає. На плато і орних схилах створюють систему полезахисних, вітро- і стокорегулювальних лісо-

вих смуг. Гідрографічну сітку доповнює система прибережних, прируслових, балкових, улоговинних, заплавних і терасових захисних лісових насаджень. Створення полезахисних і стокорегулювальних лісових смуг на водозборах є визначальним для збалансованого функціонування агроландшафтів.

Цільовою установкою для оптимізації породного складу полезахисних лісових насаджень є максимальне використання

біологічного потенціалу кожної деревної породи у відповідних типах лісорослинних умов (ТЛУ) за найменших матеріальних та трудових витрат. Цей біологічний потенціал може виявитися лише у сприятливих для певної породи ТЛУ.

Основними критеріями оптимального складу полезахисних лісових насаджень є їх цільове призначення, найкраща конструкція, відповідність типу умов їх зростання, оптимальна структура за породним складом; вибір найефективніших головних і супутніх порід; найліпше розміщення деревних порід; оптимальне змішування за породним складом; оптимізація типів полезахисних лісових насаджень. Найважливіший із перерахованих критеріїв — цільове призначення насаджень, оскільки є своєрідною програмою, за якою планується його вирощування, одержання відповідної його конструкції. Крім того, формування її потрібно забезпечити у ранньому віці, коли потрібні найменші матеріальні й трудові витрати. Структура захисного лісового насадження, як взаємно пов'язано розміщення компонентів лісового насадження, що впливають на його цілісність, стійкість і захисні властивості, є одним із найбільш емких та важливих понять, необхідних для вивчення будови об'єкта, взаємодії між його складовими частинами й елементами.

Оптимальна структура полезахисних лісових насаджень за породним складом має істотне значення для підвищення ефективності полезахисного лісорозведення в різних регіонах України. За даними О.І. Фурдичка [1] питома частка дуба звичайного в структурі полезахисних лісових насаджень Бузько-Дніпровського лісомеліоративного району становить 35%. Приблизно 60% припадає на полезахисні лісові насадження із недостатньо ефективних у лісомеліоративному районі деревних порід — робінії звичайної та гледичії колючої (34%), ясена звичайного й клена ясенелистого (21%), в'яза (2%).

ДП ДГ «Сквирське», що розташовано на південному заході Київської обл. на правобережжі р. Дніпра. Лісовий фонд має площу 50,15 га.

Захисні ліси. Категорія лісів:

- лісові насадження лінійного типу — 31,2163 га;
- землі під чагарниками — 13,3122 га;
- інші лісовкриті землі — 5,6209 га.

Загальна площа захисних лісів сягає 50,15 га.

Лісові насадження лінійного типу розташовані по периметру західної і північної частини земельної ділянки, що знаходиться в межах Сквирської міської ради. Зі сходу частина земельних ділянок не захищена лісовими насадженнями, які належать до дослідного господарства. В ярах, які розташовані із півдня та частково заходу знаходяться чагарники. Більша половина лісових насаджень лінійного типу (13,9308 га) — це полезахисні лісові смуги. За таксономічним складом: тополя чорна (*Populus nigra* L.) віком 60–65 років, ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* L.) віком 50–55 років. На загальній площі полезахисної лісової смуги підріст клена ясенелистого (*Acer negundo* L.), 5–20 років, природного походження, становить 75%. Водночас частину полів господарства розмежовує лісова смуга, яка складається на 100% із дуба звичайного (*Quercus robur* L.) віком 70 років.

Земельні ділянки Дослідного господарства перебувають у межах Домантівської сільської ради по периметру захищені із сходу, півдня і заходу лісовими смугами площею 17,2855 га. Поля господарства розділені також кількома захисними лісовими смугами. Переважно за таксономічним складом: тополя чорна, 65–70 років, та підріст клена ясенелистого, 5–20 років, природного походження, сягає 75%.

У лісосмугах визначено пошкодження хворобами лісу, всихання стовбурів листяних порід — 20% (середня ступінь); омела біла — 10–20% (слабка-середня ступінь).

Господарські заходи у захисних лісах передбачають проведення вибіркового санітарних рубок, обрізування гілок і сучків, вирубання підліску, що регулярно, сезонно здійснюється установами, відповідно до вимог організації санітарних рубок у лісах.

На підставі цих досліджень у лісових насадженнях дослідних господарств Інституту агроєкології і природокористування НААН можна констатувати про задовільний їх стан, але є потреба у проведенні робіт щодо їх поліпшення та збільшення площ. Здійснено лісомеліоративне впорядкування захисних лісових насаджень та полезахисних лісових смуг Сквирської дослідної станції, де належно організовані інвентаризаційні роботи — розподіл за типами полезахисних лісових смуг, за головними породами, за групами віку та за конструкцією насаджень.

Отже, **метою** є проведення комплексних досліджень у полезахисних лісових смугах ДП «ДГ» Сквирське» ІАП НААН» для встановлення фітоценотичної структури смуг, рівня їх біорізноманіття, лісотаксаційні показники та екологічне значення в агроландшафтах Центрального Правобережного Лісостепу.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Останніми роками у науковій літературі була велика кількість публікацій, присвячених лісосмугам, їх стану та функціям. Актуальність дослідження пов'язано із втратою біорізноманіття, деградацією ландшафтів та стрімкими змінами клімату.

Так, у статті А. Kovalenko у співавт. [2] та V. Maliuha у співавт. [3] здійснили комплексний аналіз лісосмуг України, деградаційні процеси, що в них відбуваються та перспективи відновлення насаджень. Водночас Н.В. Зворська та В.П. Шлапак [4] виявили вплив лісосмуг на підвищення врожайності сільськогосподарських культур в умовах Правобережного Лісостепу.

І.В. Соломаха та В.Л. Шевчик у своїй статті [5] виконали фітоценотичний аналіз та запропонували детальну синтаксономію полезахисних лісових смуг у Середньому Придніпров'ї. V. Lavrov із співавт. [6], провів дослідження в лісосмугах поряд з агроландшафтами, де втілював органічне виробництво та наголосив про екологічне значення для стабільності такої екосистеми. О.М. Тупчії в своїй публікації здійсни-

ла систематичний аналіз флори лісосмуг різної конструкції та виявила значне різноманіття залежно від типу смуг Правобережного Лісостепу [7].

Дослідження європейських учених також дають можливість розуміння впливу лісосмуг на збереження біорізноманіття. Так, J. Ziegler та ін. [8] запропонували модель підрахунку депонованого вуглецю захисними лісосмугами для актуальних інструментів планування землекористування. Насамперед, F.M. Sabatini та ін. [9] досліджували взаємозв'язок між депонуванням вуглецю та збереженням біорізноманіття в лісах Європи, як один із компонентів політики в агролісомеліорації.

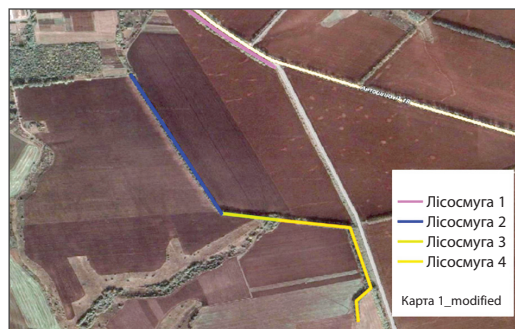
Також вивченням структури полезахисних лісових насаджень та їх фітоценологію в межах Лісостепу України здійснюються виключно й співробітниками ІАП НААН, серед яких О.Ю. Чорнобров [10], І.В. Соломаха [11], О.І. Фурдичко [1], Є.Д. Ткач [12], захищено дисертацію на здобуття наукового ступеня доктор сільськогосподарських наук І.Я. Тимочко [13], а також виконується фундаментальне дослідження [14].

Загалом, проведений аналіз свідчить про високу інтенсивність наукових досліджень у галузі охорони та оптимізації польових лісосмуг. Однак, існує потреба в інтеграції екологічних, економічних та соціальних підходів до планування, управління й моніторингу таких насаджень, особливо в умовах післявоєнного відновлення агроландшафтів України.

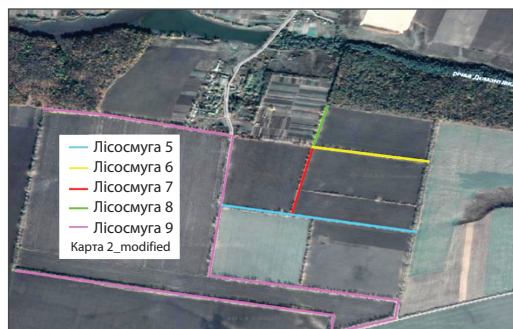
МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для фітоєкологічної характеристики полезахисних насаджень у межах ДП «ДГ» Сквирське» дослідження проводилися на 9 ділянках (*рис.*) різних за конструкцією, головною (домінантною) деревною породою у складі лісосмуги та типом змішування.

Аналіз даних стану лісосмуг здійснювався методом порівняльного аналізу картографічних та супутникових матеріалів у ГІС-середовищі, отримана за допомогою



а



б

Схема розташування полезахисних лісових смуг ДП «ДГ «Сквирське» (масштаб 1:8000): а — східна частина; б — західна частина

відкритих джерел дистанційного зондування землі та маршрутного обстеження в 2024 р. [15].

Класифікація типів лісосмуг та їхніх функціональних характеристик виконувалася згідно з Постановою Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку поділу лісів на категорії та виділення особливо захисних лісових ділянок» [16].

Геоботанічні описи лісосмуг виконувалися згідно із загальноприйнятою методикою. Основою слугує підхід Браун-Бланке з використанням шкали проективного покриття видів (р +, 1–5), що дає можливість точно фіксувати видовий склад, домінування та співвідношення еколого-ценотичних груп. Облік здійснювався на тимчасових пробних площах розміром 10×10 м у лісосмугах різної конструкції за домінантною породою деревостану [17].

Для оцінки депоновання вуглецю в полезахисних лісових смугах застосовують методику, що базується на визначенні запасу фітомаси дерев та подальшому розрахунку вмісту вуглецю. У польових умовах проводять вимірювання діаметра дерев заввишки 1,3 м, середньої висоти, видового складу та щільності насаджень. Обсяг деревини виявляють за таксаційними таблицями [18]. Надземну біомасу оцінюють окремо для стовбурів, гілок, листя, іноді враховують підземну частину (коріння). Вміст вуглецю приймається на рівні 50%

від сухої біомаси, що відповідає загальноприйнятим стандартам IPCC [21].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За результатами польових досліджень в полезахисних лісових смугах ДП «Дослідне господарство «Сквирське» ІАП НААН» було встановлено флористичний склад, структуру, а також особливості просторового розподілу біорізноманіття.

Полезахисна лісова смуга № 1 розташована поряд із автошляхом Р18. Загальна протяжність сягає 500 м та завширшки 25 м. За конструкцією ця смуга щільна дерево-чагарникового типу змішування, де головною деревною породою постає лише осика (*Populus tremula* L.) в один ряд із кроком 5 м, а як підріст — клен ясенелистий (*Acer negundo* L.). Середня висота лісосмуги — 26 м, а діаметр 68 см. За даних показників лісосмуги загальний об'єм її оцінюється 470 м³, а маса депонованого вуглецю становить 125,00 т.

Полезахисна лісова смуга № 2 розміщена в північно-східній частині поля № 9 підприємства. Головною деревною породою є дуб звичайний (*Quercus robur* L.) висаджений в 2 ряди, де відстань між рядами та в ряду сягає в середньому 5 м. Ця лісосмуга також є щільною, дерево-чагарникового типу змішування, як підріст — клен ясенелистий (*Acer negundo* L.), що зростає із

зовнішньої частини смуги, а також в одиничних екземплярах представлений в середині неї. Простягається смуга на 860 м та має ширину в 25 м. Середня висота дуба становить 26 м, а діаметр 44 см. Загальний запас оцінюється в 319 м³, а маса депонованого вуглецю — 115 т.

Полезахисна лісосмуга № 3 розташована у південній частині поля № 12 поряд із яром. Смуга представлена чистим насадженням дуба звичайного (*Quercus robur* L.) висадженого в 1 ряд із відстанню між деревами 3–5 м. За конструктивними особливостями ця лісосмуга належить до ажурно-продувної та до мішаного типу. У підліску зростає клен ясенелистий (*Acer negundo* L.), протяжність становить 190 м, ширина 25 м, середня висота смуги 26 м, діаметр — 44 см, запас — 79 м³, маса депонованого вуглецю — 26 т.

Полезахисна лісосмуга № 4 розташована між 1 і 12 полями господарства має протяжність 900 м та завширшки 25 м. За конструкцією смуга є щільною, 2-рядною дерево-чагарникового типу змішування, де головною породою постає дуб звичайний (*Quercus robur* L.), як чагарник висаджений клен ясенелистий (*Acer negundo* L.). Середня висота смуги сягає 28 м, діаметр — 48 см. Загальний запас смуги становить 955 м³, які депонували 295 т вуглецю.

Полезахисна лісосмуга № 5 розміщена біля полів 1, 3, 5, 13 та має протяжність 920 м та ширину 10 м. Це однорядна смуга помірно-продувної конструкції дерево-тіньового типу змішування, де головною породою постає осика (*Populus tremula* L.), а як підліскова порода — бирючина (*Ligustrum vulgare* L.), бузина (*Sambucus nigra* L.), черешня (*Cerasus avium* (L.) Moench) та клен ясенелистий (*Acer negundo* L.). Загальний запас смуги становить 470 м³, які акумулюють у собі 122 т вуглецю.

Полезахисна лісосмуга № 6 знаходиться між полями № 12, 13. Її протяжність сягає 530 м та ширина 10 м. Це однорядна смуга із осики (*Populus tremula* L.) та клена ясенелистого (*Acer negundo* L.), як домішка також зростає черешня (*Cerasus avium* (L.) Moench).

Полезахисна лісосмуга № 7 розташована біля полів 4, 5, 13 з протяжністю в 515 м та завширшки 5 м. У смугі домінує липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill.), наявна також осика (*Populus tremula* L.), в одиничних екземплярах зростає клен гостролистий (*Acer platanoides* L.). Зустрічається клен ясенелистий (*Acer negundo* L.), черешня (*Cerasus avium* (L.) Moench) та свидина (*Swida sanguinea* (L.) Opiz). Тому, лісосмуга є щільною за конструкцією та дерево-чагарникового типу змішування. Середня висота цієї смуги становить 20 м, а діаметр 12 см, що робить її однією із найменших за таксаційними показниками лісосмуг підприємства. Маючи навіть невеликі таксаційні розміри, загальний об'єм смуги сягає 236 м³, що депонує 72 т вуглецю.

Полезахисна лісосмуга № 8 розміщена поряд із полем № 12 та теплищами. Це однорядна смуга, головною деревною породою є осика (*Populus tremula* L.), а також в одиничних екземплярах зростає дуб звичайний (*Quercus robur* L.) та липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill.). Смуга є помірно-продувної конструкції змішаного типу, де як чагарник зростає черешня (*Cerasus avium* (L.) Moench), в'яз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), клен ясенелистий (*Acer negundo* L.). Протяжність смуги становить 300 м, а її ширина 15 м. Висота даного деревостану — 22 м, діаметр — 56 см. За загального запасу деревини 164 м³, смуга акумулює 74 т вуглецю.

Полезахисна лісосмуга № 9 знаходиться навколо поля № 6 і 9, а також межує із місцевою автодорогою Квітневе–Самгородок. Смуга є однорядною, де головною породою зростає осика (*Populus tremula* L.). Також у смугі трапляється алича (*Prunus cerasifera* Ehrh.), шовковиця чорна (*Morus nigra* L.) та клен ясенелистий (*Acer negundo* L.). За конструктивними особливостями лісосмуга є ажурною, а за типом змішування належить до дерево-чагарникового типу.

Загальна кількість видів, що виявлені у видовому складі полезахисних лісових смуг — 237 видів судинних рослин, які належать до 162 родів, 55 родин. Цей показник нижчий, ніж для інших лісових

ценофлор близьких територій. Наприклад, для лісової ценофлори Черкасько-Чигиринського р-ну зазначається 294 види судинних рослин. Для Канівського природного заповідника сукупно у класах *Carpino-Fagetea* і *Robinietea* зазначається 349 видів [20]. Ці об'єкти знаходяться у приблизно однакових кліматичних умовах. Отже, флора полезахисних лісових смуг є відносно збідненою порівняно із лісовими ценофлорами у майже таких самих кліматичних умовах. Це пояснюється закладанням лісосмуг на ділянках із повністю знищеним природним покривом.

Основну частину таксономічного спектра становлять провідні за кількістю видів родини, які загалом визначають характер досліджуваної флори. Перші 10 провідних родин відображають основні властивості флори і є головною частиною спектра. Вони нараховують 137 видів, або 57,8% від загальної кількості видів (табл. 1).

До трьох перших родин систематичного спектра належить 73 види, 30,8%. Аналіз головної частини родинного спектра флори лісосмуг засвідчує провідну роль *Asteraceae* і *Poaceae*, які посідають відповідно 1 і 3 місця, що є характерним для флори Голарктики загалом. Більшість представників родини *Asteraceae* — анемохорні види. Зважаючи на те, що лісові смуги,

особливо незначної ширини (рядності), розташовані на відкритій місцевості, то швидкість вітру тут значна. Вагоме місце *Rosaceae* у родинному спектрі належить ценофлору лісового типу (23). Загалом, панівні позиції перших трьох родин характерні для флорокомплексів антропогенно трансформованих територій.

Решта родин (45) об'єднує 100 видів, що становить 42,2% від загальної кількості, більшість з родин представлена невеликою кількістю або одним видом, тобто має низький рівень видового багатства досліджуваних лісосмуг.

Розподіл між родинами є виразно нерівномірним — переважна частина видів зосереджена у небагатьох родинах. У табл. 1 наведено співвідношення кількості видів перших десяти провідних родин і родів.

Загальна кількість родів у видовому складі полезахисних лісових смуг — 161, що свідчить про гетерогенний характер. Внутрішню специфіку систематичного різноманіття відображає родовий спектр. Провідні роди у спектрі налічують 49 видів рослин, що сягає 20,7% від загального числа видів. Домінантним за кількістю видів є рід *Prunus* (9 видів), представники якого поширені переважно біля центрів культивування, на узбіччях доріг, поблизу житла.

Таблиця 1. Таксономічна структура флори лісосмуг на рівні 10 провідних родин та родів [21]

Ранг	Родина	Кількість видів	% до загально-го списку видів	% до списку видів перших 10	Рід	Кількість видів	% до загального списку	% до списку перших 10
1	<i>Asteraceae</i>	33	13,9	24,1	<i>Prunus</i>	9	3,8	18,4
2	<i>Rosaceae</i>	23	9,7	16,8	<i>Acer</i>	6	2,5	12,2
3	<i>Poaceae</i>	17	7,2	12,4	<i>Carex</i>	5	2,1	10,2
4	<i>Apiaceae</i>	16	6,8	11,7	<i>Viola</i>	5	2,1	10,2
5	<i>Lamiaceae</i>	12	5,1	8,8	<i>Bromus</i>	5	2,1	10,2
6	<i>Caryophyllaceae</i>	11	4,6	8,0	<i>Allium</i>	4	1,7	8,2
7	<i>Fabaceae</i>	8	3,4	5,8	<i>Ribes</i>	4	1,7	8,2
8	<i>Brassicaceae</i>	6	2,5	4,4	<i>Poa</i>	4	1,7	8,2
9	<i>Sapindaceae</i>	6	2,5	4,4	<i>Campanula</i>	4	1,7	8,2
10	<i>Cyperaceae</i>	5	2,1	3,6	<i>Populus</i>	3	1,3	6,0
Разом		137	57,8	24,1		49	20,7	100

Основним із показників систематичної структури флори є співвідношення між різними групами видів рослин, що виражаються за допомогою числових показників. Співвідношення кількості видів та родів лісосмуг Лівобережного Лісостепу становить 1 : 1,47, а родів та родин — 1 : 2,93.

Співвідношення різних родин відрізняється у природної, апофітної та адвентивної фракції флори полезахисних лісових смуг (табл. 2).

Так, зокрема види родини *Asteraceae* є переважно апофітами (37,5%), тоді як природних видів серед них мало, лише 5%. Зовсім іншу стратегію реалізують види *Rosaceae*, більшість яких формують частку природних видів. Подібна ситуація у видів із родини *Poaceae*, де частка природних видів становить 20%. У родинах *Apiaceae* та *Caryophyllaceae* переважають апофіти (21,4% та 12,5% відповідно). Види *Cyperaceae*, хоча загальна частка їх відносно незначна (3,7%), однак формують виключно фракцію природних видів (12,5%). Різняться ранги родин у кожній фракції. Зокрема, у трійку перших, що формують фракцію природних видів входять *Rosaceae*, *Poaceae* та *Cyperaceae* у зазначеному порядку. Апофітну фракцію утворюють загалом види *Asteraceae*, *Apiaceae* та *Caryophyllaceae*. Більшість неофітів є представниками родин *Asteraceae*, *Rosaceae* та *Lamiaceae*.

Отже, систематична структура природної, апофітної та адвентивної фракції флори полезахисних лісових смуг відрізняються. Встановлені співвідношення характеризують сукупність еволюційно-складених морфологічних та репродуктивних пристосувань видів різних родин, що сприяють їх міграції з інших територій (чужинні види) або на антропогенно-трансформовані місцезростання (апофіти).

Список основних ярусоформувальних видів полезахисних лісосмуг (табл. 3) подано з урахуванням показника постійності, тому враховує не лише кількість видів, а й відображає ступінь середовищеутворюючого впливу. Перших 10 видів у кожному ярусі, відсортовані за значеннями показ-

Таблиця 2. Співвідношення родин природної, апофітної та адвентивної фракції полезахисних лісових смуг [21]

Family	Частки фракцій щодо загальної кількості видів, %		
	Nat (природна)	Апо (апофітна)	Inv (інвазійна)
<i>Asteraceae</i>	5,0	37,5	28,2
<i>Rosaceae</i>	37,5	5,4	12,8
<i>Poaceae</i>	20,0	7,1	10,3
<i>Apiaceae</i>	2,5	21,4	7,7
<i>Lamiaceae</i>	5,0	8,9	10,3
<i>Caryophyllaceae</i>	5,0	12,5	2,6
<i>Fabaceae</i>	5,0	3,6	10,3
<i>Sapindaceae</i>	7,5	0	7,7
<i>Brassicaceae</i>	0	3,6	10,3
<i>Cyperaceae</i>	12,5	0	0

ника постійності — рясність, тобто добутку обох показників вираженому у відсотках, що наведено у табл. 3. Врахування як постійності, так і рясності видів у зазначеному показнику допомагає більш повно оцінити ценотичну значимість видів і визначити найбільш впливові види кожного ярусу.

Деревний ярус. Трійку основних деревних видів, що утворюють головний ярус лісосмуг, становлять природні види (*Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Acer platanoides*), які широко застосовуються під час формування лісосмуг. Вони найкраще пристосовані до кліматичних умов та ґрунтів лісостепової зони і створюють зональний тип широколистяних лісів. Самі лісосмути мають штучний характер і найпоширенішими є види-інтродуценти *Acer negundo* (38,3%), *Robinia pseudoacacia* (13,0) та *Fraxinus pennsylvanica* (5,6%). Варто відзначити, що ці види не тільки активно висаджуються, але й самостійно поширюються через значну насінну продуктивність, швидкий ріст і невибагливість до світлового режиму. Найліпше ці види зростають на багатих ґрунтах (чорноземах вилугуваних та сірих лісових ґрунтах), проте є невибагливими до ґрунту. Крім того, вони швидко займають вікна, що виникли внаслідок вітровалів у відносно

Таблиця 3. Оновні ярусоформувальні види рослинності поєззахисних лісових смуг [21]

Ранг	Вид/Ярус	Група	Constancy, Постійність, %	Abundance-avg, Середнє покриття, %	Constancy- Abundance Indicator, %
<i>Деревний ярус</i>					
1	<i>Quercus robur</i>	Natural	75,4	56,0	65,0
2	<i>Fraxinus excelsior</i>	Natural	46,3	28,0	36,0
3	<i>Acer platanoides</i>	Natural	32,3	23,0	27,2
4	<i>Acer negundo</i>	Neophyte	38,3	15,0	24,0
5	<i>Ulmus laevis</i>	Natural	35,1	16,0	23,7
6	<i>Tilia cordata</i>	Natural	11,9	35,0	20,4
7	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Neophyte	13,0	32,0	20,4
8	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Neophyte	5,6	39,0	14,8
9	<i>Ulmus minor</i>	Natural	4,6	35,0	12,6
10	<i>Populus nigra</i>	Natural	4,9	31,0	12,3
<i>Чагарниковий ярус</i>					
1	<i>Sambucus nigra</i>	Геміапофіт	57,9	15,0	29,5
2	<i>Caragana arborescens</i>	Neophyte	23,5	13,0	17,5
3	<i>Ptelea trifoliata</i>	Neophyte	7,4	18,0	16,7
4	<i>Acer tataricum</i>	Natural	21,4	12,0	16,0
5	<i>Prunus spinosa</i>	Natural	20,0	5,0	10,0
6	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	Neophyte	3,2	27,0	9,2
7	<i>Cornus sanguinea</i>	Natural	13,3	5,0	8,2
8	<i>Euonymi europaeus</i>	Natural	15,1	4,0	7,8
9	<i>Cotinus coggygria</i>	Neophyte	4,2	14,0	7,7
10	<i>Crataegus rhipidophylla</i>	Natural	19,7	3,0	7,7
<i>Трав'яний ярус</i>					
1	<i>Chelidonium majus</i>	Апофіт	48,1	20,0	31,0
2	<i>Impatiens parviflora</i>	Neophyte	11,9	37,0	21,0
3	<i>Elytrigia repens</i>	Апофіт	48,8	8,0	19,8
4	<i>Ballota nigra</i>	Археофіт	52,6	6,0	17,8
5	<i>Urtica dioica</i>	Геміапофіт	39,3	6,0	15,4
6	<i>Alliaria petiolata</i>	Апофіт	21,1	11,0	15,2
7	<i>Geum urbanum</i>	Геміапофіт	48,4	4,0	13,9
8	<i>Poa nemoralis</i>	Natural	27,0	6,0	12,7
9	<i>Galium aparine</i>	Апофіт	37,9	4,0	12,3
10	<i>Poa angustifolia</i>	Natural	13,0	10,0	11,4

вузьких продувних 5–7-рядних лісосмугах. Інші види, що формують деревний ярус (*Ulmus laevis*, *Tilia cordata*, *Ulmus minor*, *Populus nigra*) належать до природних і є типовими для листяних лісів регіону.

Тому, найрепрезентативнішими та найпродуктивнішими в умовах лісостепової зони є лісосмуги, в яких деревний ярус

складається з насаджених місцевих видів (дуба, ясена та клена), що добре адаптовані до місцевих кліматичних умов. Такі лісосмуги найбільшою мірою виконують свої екосистемні функції ще й тому, що будують угруповання з найчисельнішою «свитою» з природних видів, про ще піде мова далі. Щодо інтродуцентів, зокрема *Acer negundo*,

Robinia pseudoacacia, *Fraxinus pennsylvanica*, то вони виграють переважно за рахунок невибагливості до ґрунтів, швидкого росту та значної насінної продуктивності.

Чагарниковий ярус. У чагарниковому ярусі полезахисних лісових смуг *Sambucus nigra* є найбільш постійним (57,9%) видом. Цей вид місцевої флори добре пристосований до штучних насаджень, а також зростає у природних лісах на родючих ґрунтах. Якщо наявність природних деревних видів (дуба, клена, ясена тощо) у лісосмугах є результатом їх висаджування, то поява чагарникових природних видів (*Euonymus europaeus*, *Cornus sanguinea*, *Crataegus rhipidophylla* тощо) можна трактувати як прояв сукцесій, спрямованих у бік зонального типу рослинності, що існував на вододілах у доісторичний період.

Водночас, у чагарниковому ярусі також значна кількість інвазійних видів, зокрема *Caragana arborescens*, *Ptelea trifoliata* та ін. Поширення цих видів у лісосмугах, а також і деревних інвазійних видів (*Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia* тощо) є спонтанним. Частина їх розноситься птахами, оскільки на суходолах, де природні ліси знищені, лісосмуги є добрими місцями для гніздування.

Трав'яний ярус. Слід відмітити, що у напрямку від деревного до чагарникового і трав'яного ярусів, домінування певних видів стає дедалі менш вираженим, частки їх поступово вирівнюються, а розрив між першим та наступними представниками зменшується. Якщо у деревному ярусі трапляння *Quercus robur* сягало 75,4%, у чагарниковому за першим видом *Sambucus nigra* було 57,9%, то у трав'яному ярусі основний вид *Chelidonium majus* має постійність 48,1%. Що стосується структури трав'яного ярусу покриву лісосмуг, то кількість природних видів незначна і переважно це світлолюбні злакові представники (*Poa nemoralis*, *Poa angustifolia* тощо). Значна частка у трав'яному ярусі апофітів, зокрема *Elytrigia repens*, *Urtica dioica*, *Geum urbanum*, *Galium aparines* та ін. Оскільки вони трапляються у порушених угрупованнях, то також формують і основу

трав'яного покриву лісосмуг. Серед видів чужинного походження найбільш пристосувалися та опанували ніші види, що віддають перевагу затіненим місцезростанням (*Impatiens parviflora*, *Ballota nigra* тощо). Їх укоріненню в угрупованнях також сприяють багаті ґрунти, переважно чорноземи та сірі лісові.

Значна частина досліджених полезахисних лісових смуг у схемі класифікації рослинності системи Браун-Бланке відповідає класу штучних лісів *Robinietae* Jurko ex Hadač et Sofron 1980 [22].

СИНТАКСОНОМІЧНА СХЕМА УГРУПОВАНЬ ПОЛЕЗАХИСНИХ ЛІСОВИХ СМУГ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Клас *Robinietae* Jurko ex Hadač et Sofron 1980

Порядок *Chelidonio-Robinietales*
pseudoacaciae Jurko ex Hadač et Sofron 1980

Союз *Chelidonio majoris-Robinion pseudoacaciae* Hadač et Sofron ex Vítková in Chytrý 2013

Асоціація *Chelidonio-Robinetum* Jurko 1963

Союз *Chelidonio-Acerion negundi* L. Ishbirdina et A. Ishbirdin 1989

Асоціація *Chelidonio-Aceretum negundi* L. Ishbirdina et A. Ishbirdin 1991

Союз *Balloto nigrae-Robinion pseudoacaciae* Hadač et Sofron 1980

Асоціація *Chelidonio-Pinetum sylvestris* (Gorelov 1997) Davydov 2019

Союз *Geo-Acerion platanoidis* L. Ishbirdina et A. Ishbirdin 1991 nom. inval.

Асоціація *Elytrigio repentis-Aceretum platanoidis* Vorobyov & I.Solomakha in I.Solomakha & al. 2015

Асоціація *Poa nemoralis-Tilietum cordatae* ass. nova prov.

Асоціація *Geo urbano-Fraxinetum* ass. nova prov.

var. *Fraxinus pennsylvanica*

var. *Fraxinus excelsior*
 Асоціація *Ballota nigrae-Ulmetum*
 ass. nova prov.
 var. *Ulmus laevis*
 var. *Ulmus minor*
 Союз *Sambuco nigrae-Quercion*
robori all. nova
 Асоціація *Alliario petiolatae-Ptelietum trifoliatae* ass. nova
 Асоціація *Elytrigio repentis-Quercetum robori* ass. nova
 Субасоціація *E.r.-Q.r. typicum*
 subass. nova
 Субасоціація *E.r.-Q.r. agrimonietosum eupatori*
 subass. nova
 Асоціація *Sambuco nigrae-Quercetum robori* ass. nova
 Субасоціація *S.n.-Q.r. typicum*
 subass. nova
 Субасоціація *S.n.-Q.r. antriscietosum sylvestri* subass.
 nova
 var. *Artemisia vulgaris*
 var. *typica*

ВИСНОВКИ

У видовому складі біоти полезахисних лісових смуг виявлено 237 видів вищих

судинних рослин, що належать до 162 родів, 55 родин. Показник таксономічного різноманіття є меншим приблизно на 25%, ніж для природної рослинності за тих самих кліматичних і природних умов регіону. Частотний аналіз трапляння видів показав, що основними деревними породами лісосмуг є природні види — *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Ulmus laevis*, *Acer platanoides*, а також чужинні (адвентивні) — *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*. Чагарниковий ярус у лісосмугах мають структуру до природних лісів подібну структуру, та його формують: *Sambucus nigra*, *Acer tataricum*, *Crataegus rhipidophylla*, *Euonymus europaeus* та ін. На відміну чагарникового, трав'яного ярусу виключно штучного, що складається з антропофітів, і лісових видів у ньому немає. Його формують види класу *Robinietaea* (*Ballota nigra*, *Chelidonium majus*), або лучні види (*Elymus repens*), або види *Galio-Urticetea* (*Geum urbanum*, *Urtica dioica*, *Galium aparines*). Синтаксономія полезахисних лісових смугкладається в синантропізований клас деревних насаджень *Robinietaea* Jurko ex Hadač et Sofron 1980, але з часом досліджений об'єкт можливо потребуватиме іншого синтаксономічного рішення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фурдичко, О. І., Тимочко, І. Я., & Соломаха, І. В. (2021). Еколого-функціональні особливості лісових насаджень Лісостепу України. *Збалансоване природокористування*, 4, 29–41. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2021.253081>.
2. Kovalenko, A., Sakal, O., Tretiak N. & Skolskyi, I. (2021). Field shelterbelts: current state, land use issues and perspective in Ukraine. *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*, X, 50–60.
3. Maliuha, V., Sovakov, O., & Dudarets, S. (2023). The current state of windbreaks in the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 14(2), 53–66. DOI: <https://doi.org/10.31548/forest/2.2023.53>.
4. Зворська, Н. В., & Шлапак, В. П. (2022). Вплив полезахисних лісових смуг у межах дії екотону на врожайність соняшнику у Правобережному Лісостепу України. *Науковий вісник НЛТУ України*, 32(2), 13–18. DOI: <https://doi.org/10.36930/40320202>.
5. Соломаха, І. В., & Шевчик, В. Л. (2020). Синтаксономія полезахисних лісових смуг Середнього Придніпров'я. *Чорноморський ботанічний журнал*, 16(1), 40–54. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2020-16-1-2>.
6. Lavrov, V., Miroshnyk, N., Grabovska, T., & Shupova, T. (2021). Forest shelter belts in organic agricultural landscape: structure of biodiversity and their ecological role. *Folia Forestalia Polonica, Series A — Forestry*, 63(1), 48–64. DOI: <https://doi.org/10.2478-ffp-2021-0005>.
7. Тупчий, О. М. (2024). Різноманіття трав'яної рослинності полезахисних лісових смуг, трансформованих у насадження орно-польового агролісівництва у Правобережному Лісостепу України. *Лісівництво та агролісомеліорація*, 145, 46–56. DOI: <https://doi.org/10.33220/1026-3365.145.2024.46>.
8. Ziegler, J., Easter, M., & Swan, A. (2016). A model for estimating windbreak carbon within COMET-Farm™. *Agroforest Syst*, 90, 875–887. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9977-0>.
9. Sabatini, F. M., de Andrade, R. B., & Paillet, Y. (2018). Trade-offs between carbon stocks and biodiversity in European temperate forests. *Global*

- Change Biology*, 25(2), 536–548. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14503>.
10. Чорнобров, О. Ю., Соломаха, В. А., Соломаха, І. В., Саблук, В. Т., Гументик, М. Я., & Шевчик, В. Л. (2024). Відтворення полезахисних лісових смуг, пошкоджених унаслідок військових дій, у зоні Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*, 4, 81–91. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2024.317154>.
11. Соломаха, В. І., Постоєнко, Д. М., & Соломаха, В. А. (2023). Польові лісосмуги Середнього Лісостепоного Придніпров'я як сировинні угіддя для бджільництва. *Агроекологічний журнал*, 1, 38–46. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2023.276726>.
12. Ткач, Є. Д., Шерстобоева, О. В., Стародуб, В. І., Довгич, К. І., Гончаренко, Г. Є., Совгіра, С. В., ... Богословська, М. Б. (2018). *Фітобіотичне різноманіття природних фітоценозів агроландшафтів України: моногр.* Умань: вид-цв «Сочінський М.М.».
13. Тимочко, І. Я. (2024). Екологічні засади функціонування та збереження захисних лісових насаджень Північно-Східного Лісостепу України [Дис. д-ра с.-г. наук, Інститут агроекології і природокористування НААН України]. Інституційний репозитарій Інституту агроекології і природокористування НААН України. DOI: <https://agroeco.org.ua/disertatsiji/ekologiya/timochko-igor-jaroslavovich/>.
14. Соломаха, В. А. (2021). *Сучасний стан, просторова та структурна оптимізація полезахисних лісових смуг Лісостепу України* (0121U108851). Київ: ІАП НААН України.
15. Соломаха, І. В., Конішук, В. В., Соломаха, В. А., Тимочко, І. Я., Льєнко, Т. В., & Кучма, Т. Л. (2022). *Екологічна паспортизація, збереження, реконструкція існуючих та створення нових захисних лісових насаджень в Україні (методичні рекомендації)*. Київ: ДІА.
16. Про затвердження Порядку поділу лісів на категорії та виділення особливо захисних лісових ділянок. Постанова Кабінету Міністрів України № 733 від 16.05.2007 р. (Україна). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/733-2007-%D0%BF#Text>.
17. Вальтер, Г. (1982). *Общая геоботаника*. Москва: Мир.
18. Кашпор, С. М., & Строчинський, А. А. (Ред.). (2013). *Лісотаксаційний довідник*. Київ: Виниченко.
19. IPCC. (2006). *International Greenhouse Gas Inventories*. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.
20. Шевчик, В. Л., Соломаха, В. А., & Войтюк, Ю. О. (1996). *Синтаксономія рослинності та список флори Канівського природного заповідника*. Київ: Фітосоціоцентр.
21. Конішук, В. В., Гончаренко, І. В., Шумигай, І. В., Соломаха, В. А., Соломаха, І. В., ... Мартиненко, В. В. (2024). *Оптимізація екологічних функцій, територіального розподілу, використання та охорони полезахисних лісових смуг агросфери України (стан, структура, репрезентативність, фітострома). Методичні рекомендації*. Київ: ДІА.
22. Дубина, Д. В., Дзюба, Т. П., Ємельянова, С. М., Багрікова, Н. О., Борисова, О. В., Борсукевич, Л. М., ... Якушенко, Д. М. (2019). *Продромус рослинності України*. Київ: Наукова думка.

Стаття надійшла до редакції журналу 18.06.2025

ОЦІНКА ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ ҐРУНТІВ УКРАЇНИ РУХОМИМИ ФОРМАМИ ЦИНКУ

Р.П. Паламарчук¹, О.М. Грищенко¹, І.М. Гульванський²,
С.Г. Брегеда³, І.В. Циганов⁴

¹Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України» (м. Київ, Україна)
e-mail: prp777@ukr.net; ORCID: 0000-0002-5965-1305
e-mail: grischenkoel@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1241-7183

²Придніпровський міжрегіональний центр державної установи
«Інститут охорони ґрунтів України» (с. Созонівка, Кіровоградська обл., Україна)
e-mail: obldezhrudjuchist@ukr.net; ORCID: 0009-0004-5941-2760

³Північно-східний міжрегіональний центр державної установи
«Інститут охорони ґрунтів України» (с. Степне, Полтавська обл., Україна)
e-mail: poltavaprc@ukr.net; ORCID: 0009-0007-5904-6547

⁴Запорізький регіональний центр державної установи
«Інститут охорони ґрунтів України» (м. Запоріжжя, Україна)
e-mail: zprgrunt@ukr.net; ORCID: 0009-0000-3478-9968

Наведено результати XI туру агрохімічного обстеження земель сільськогосподарського призначення на вміст рухомих сполук цинку, проведено їх аналіз та порівняння з даними IX і X турів. Це дасть можливість визначити динаміку забезпечення ґрунтів рухомими сполуками цинку та розробити заходи щодо поліпшення еколого-агрохімічного стану ґрунтів. Тренд зниження показника середньозваженого вмісту рухомих сполук цинку загалом по Україні (0,64 мг/кг) становить 20% порівняно з попереднім туром досліджень. По агрокліматичних зонах зниження сягає: в Лісостепу (0,61 мг/кг) — на 29,1%, у Степу (0,57 мг/кг) — на 16,2%, в Карпатському регіоні та зоні Полісся (0,78 мг/кг) на 18,8%. Лише у ґрунтах Закарпатської та Львівської обл. середньозважений вміст рухомих форм цинку відповідає середньому та низькому рівням забезпеченості. Аналіз результатів досліджень в розрізі адміністративних одиниць України засвідчив відсутність сільськогосподарських земель із дуже високим вмістом рухомих сполук цинку в 10 областях, з високим — у 11, з підвищеним і середнім — у 4 регіонах. Найвищий рівень забезпеченості цинком демонструють ґрунти Закарпатської обл., де середньозважений показник становить 2,00 мг/кг, найнижчий — Кіровоградської обл. — 0,28 мг/кг. Зберігається тенденція до зниження вмісту рухомих форм цинку в ґрунтах України із півночі на південь — від ґрунтів із низьким вмістом органічної речовини, невеликою ємністю катіонного обміну та значеннями $pH < 5,5$ до ґрунтів із близькою до нейтральної та лужної реакції ґрунтового розчину, високим вмістом органічної речовини і вбирною ємністю. Впродовж трьох останніх турів агрохімічного обстеження стабільне зростання демонструють лише групи ґрунтів із дуже низьким і низьким рівнем забезпечення цинком — від 85,1% у 2006–2010 рр. до 96,0% — у 2016–2020 рр., або на 10,9%.

Ключові слова: агрокліматична зона, агрохімічне обстеження, дефіцит, моніторинг.

ВСТУП

Забезпеченість ґрунтів рухомими формами цинку є надзвичайно актуальною темою в сучасній агрономії та ґрунтознавстві через ключову роль цього мікроелемента у життєдіяльності рослин і здоров'ї людини. Цинк є одним із найважливіших мікро-

елементів, що беруть участь у численних ферментативних процесах, регуляції гормонального балансу, фотосинтезі, синтезі ДНК і РНК, а також у формуванні імунітету рослин [1–4]. Дефіцит рухомих форм Zn у ґрунтах призводить до зниження врожайності, погіршення якості продукції, а також до виникнення «прихованого голоду» в харчовому ланцюгу, що є загрозою для

здоров'я людей [5–7]. Водночас Н.Т. Van et al. (2018) вказують, що накопичення цинку в ґрунті може спричинити значні екологічні проблеми, включаючи зниження родючості ґрунту та потенційну токсичність як для рослин, так і для мікроорганізмів [8].

За останні 15 років значна кількість досліджень була присвячена вивченню географічної поширеності дефіциту цинку в ґрунтах різних кліматичних зон, зокрема в Індії, Китаї, Африці та країнах Європи [9–11]. Рухомі форми Zn у ґрунті визначають біодоступність елемента для рослин, що залежить від фізико-хімічних властивостей ґрунту, зокрема рН, вмісту органічної речовини, карбонатів, а також від взаємодії з іншими хімічними компонентами [12–15].

В Україні питанню забезпечення ґрунтів мікроелементами приділяли увагу С.А. Балюк, М.М. Мірошніченко, А.І. Фатєєв, Н.А. Макаренко та ін. вітчизняні ґрунтознавці й екологи. Результати їх досліджень свідчать про поширення дефіциту рухомих форм цинку, що має регіональну специфіку, зумовлену поєднанням кліматичних, едафічних і агротехнічних чинників. Тому постійний моніторинг за вмістом цього важливого мікронутрієнта є актуальним для сучасної аграрної науки.

Мета і завдання дослідження — проаналізувати результати останніх трьох турів (2006–2020 рр.) еколого-агрохімічного обстеження земель сільськогосподарського призначення в Україні за вмістом рухомих форм цинку.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

За повідомленням Z. Hu, S. Gao [16] розрахунковий середній вміст Zn у материковій земній корі становить 75 мг/кг. С. Reimann et al. [17] наголошують, що така концентрація цинку може відрізнитися у понад 1000 разів. Причиною таких розбіжностей можуть бути як відмінності у материнській породі [18], так і антропогенний вплив [19]. Залежність вмісту цинку в ґрунтах від материнської породи відзначали у своїх працях В.І. Alloway [5],

D. Cicchella et al. [20] та інші науковці. Зокрема, Р.С. Nagajyoti et al. [21] вказують, що основні магматичні породи містять 240 мг/кг Zn, магматичні породи, збагачені кремнеземом — до 140 мг/кг. В осадових породах за повідомленнями J. Mertens & E. Smolders концентрація може коливатися від 20 до 200 мг/кг із найвищими значеннями у глинах і сланцях [22]. Дослідженнями Т.М. Єгорової [23] встановлено, що позитивна геохімічна і металогенічна спеціалізація підстильних гірських порід сприяє формуванню локальних територій природної екологічної забезпеченості цинком ґрунтів зони Степу.

В огляді FAO (2020) на основі досліджень показників родючості ґрунтів у зонах Лісостепу і Полісся відзначається загальна проблема виснаження поживних елементів та деградації ґрунтів, що ускладнює утримання доступних форм мікроелементів, зокрема Zn [24].

Низка досліджень показує, що велика частина орних земель України має низький вміст рухомих сполук цинку. Зокрема, Н. Макаренко зі співавт. [25] виявили низький коефіцієнт переходу Zn із ґрунту до рослин ($\approx 0,10$), що сигналізує про слабку мобільність Zn в українських ґрунтах. Вони класифікували потенціал мобільності на рівні «дуже низький» (≤ 21 мг/кг) до «високий» (≥ 78 мг/кг), відтак більшість територій України характеризуються дефіцитом Zn. М. Мірошніченко, С. Коваленко [26] встановили, що рухомі Zn мають істотну часову динаміку в орному шарі зональних ґрунтів Лівобережного Лісостепу, яка проявилася в збільшенні їхнього вмісту з весни до осені за кислої реакції середовища та зниженні Zn і Cu за близьких до нейтральних значень рН.

У наукових працях І.В. Шумигай, В.В. Коніщук, П.М. Душко [27] зафіксовано, що в умовах Київської (чорнозем типовий, середньосуглинковий) і Вінницької (сірий опідзолений, легкосуглинковий) обл. рівень забезпеченості рухомих формами становив відповідно 0,90–1,80 мг/кг і 1,05–1,56 мг/кг залежно від системи удобрення, у всіх досліджуваних локалітетах не

виявлені перевищення гранично допустимих концентрацій для важких металів.

Дослідженнями Т.І. Козлик із співавт. [28] встановлено, що у ґрунтах сільськогосподарського призначення лісостепової зони (Любарська ОТГ Житомирської обл.) середньозважений уміст рухомих сполук цинку знаходився на дуже низькому рівні забезпеченості. І.О. Пятковська та ін. [29] повідомляють, що 89,8% обстежених угідь Івано-Франківської обл. мають дуже низький та низький уміст рухомих сполук цинку, і лише 10,2% — це площі з середньою, підвищеною, високою та дуже високою забезпеченістю.

Істотний вплив на вміст валового цинку і рухомих форм цього елемента спричинили мілітарні дії. Дослідження у цьому напрямі лише тільки розпочато, однак перші результати вказують на погіршення еколого-токсикологічного стану земель сільськогосподарського призначення в результаті бойових дій. Зокрема, в Сумській обл. вченими Ю.О. Зайцева, О.М., Грищенко, С.А. Романової та І.О. Зайцевої [30] визначено перевищення фонових рівня вмісту цинку в дев'яти з десяти проб ґрунту, відібраних на місці падіння авіабомб та розбитої військової техніки. Вміст цинку у зразках із місць бойових дій у середньому перевищував фонове значення у 3,9 раза, а в окремих пробах — від 4,7 до 7,6 раза.

О.М. Грищенко, Р.П. Паламарчук, І.В. Циганов та ін. [31] повідомляють, що внаслідок руйнування дамби Каховської ГЕС та осушення Каховського водосховища зросла потенційна небезпека забруднення навколишнього середовища частками пилу, утвореного після висихання мулу донних відкладів внаслідок вітрової ерозії та пилових бур. Встановлено, що вміст рухомих сполук цинку в таких об'єктах становить 55,06–123,83 мг/кг ґрунту, що у 2,4–5,4 раза перевищує ГДК, вміст валових форм знаходиться на рівні 71,01–262,4 мг/кг ґрунту залежно від локації відбору проб.

Тому, українські науковці консенсусно фіксують широко поширений дефіцит ру-

хомих форм Zn на орних землях, тоді як локальні підвищення валового Zn пов'язані з зонами бойових дій.

Отже, українські науковці консолідовано свідчать про дуже поширений дефіцит рухомих форм цинку на орних землях України, що становить агрономічну загрозу для врожайності та мікронутрієнтної цінності продукції. Паралельно існують локальні підвищення валового Zn в зонах пошкоджень через воєнні дії — ці ситуації вимагають екологічної оцінки і, за потреби, ремедіації. Для ефективного управління ґрунтовими ресурсами потрібен постійний агроекологічний моніторинг рухомих форм цинку.

Для вирішення цього питання в Україні з періодичністю раз у п'ять років Державною установою «Інститут охорони ґрунтів України» здійснюються заходи з еколого-агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення. Впродовж 2015–2020 рр. проведено XI тур агрохімічного обстеження земель сільськогосподарського призначення, зокрема і на вміст рухомих сполук цинку. У статті наводимо результати цього обстеження порівняно з даними IX (2006–2010 рр.) і X (2011–2015 рр.) турів. Це дасть можливість визначити динаміку забезпечення ґрунтів рухомими сполуками цинку та розробити заходи щодо поліпшення еколого-агрохімічного стану ґрунтів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Усі заплановані дослідження проводили за методами, визначеними Методикою проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення [32]. Зразки ґрунту відбирали з глибини 0–30 см відповідно до ДСТУ 4287:2004 [33]. Визначення вмісту рухомих сполук цинку виконували згідно з ДСТУ 4770.2:2007 [34]. Впродовж 2006–2010 рр. здійснено обстеження 25,9 млн га земель сільськогосподарського призначення, зокрема у 2011–2015 рр. — 18,7 млн га та в 2016–2020 рр. — 8579,6 га. У зв'язку з бойовими діями в зоні АТО та анексією Криму провести агрохімічне обстеження

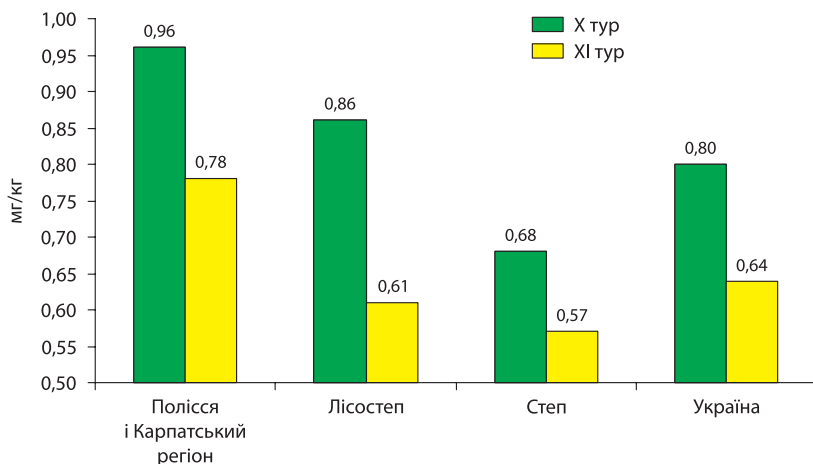


Рис. 1. Середньозважений вміст рухомих сполук цинку в ґрунті за X і XI тури обстеження, мг/кг

земель у Донецькій, Луганській обл. та АР Крим упродовж 2016–2020 рр. не було можливості.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За результатами агрохімічної паспортизації земель, забезпеченість ґрунтів України рухомими формами цинку залишається стабільно низькою, і цей тренд зберігається впродовж мінімум трьох останніх турів.

Середньозважений вміст цинку в ґрунтах України — 0,64 мг/кг — відповідає дуже низькому рівню забезпеченості (рис. 1) з трендом до зниження цього показника порівняно з попереднім туром досліджень на 20%.

Найвищим вмістом рухомих форм цинку характеризуються ґрунти Полісся і Карпатського регіону — у 2011–2015 рр. середньозважений показник знаходився на рівні 0,96 мг/кг, у 2016–2020 рр. — 0,78 мг/кг, спостерігається зниження на 18,8%.

У зоні Степу зафіксовано середньозважений показник місту рухомих форм фосфору у межах 0,57 мг/кг, що на 16,2% нижче за дані X туру досліджень. Найістотніше у площині відносних значень — на 29,1% відбулось зменшення вмісту рухомого цинку в ґрунтах лісостепової зони — від

0,86 мг/кг у 2011–2015 рр. до 0,61 мг/кг ґрунту впродовж 2016–2020 рр.

Аналіз результатів XI туру агрохімічного обстеження дає змогу зробити висновок, що за ступенем забезпеченості рухомими сполуками цинку 88,8% обстежених площ мають дуже низький вміст цього мікроелемента, 7,2 — низький, 2,0 — середній, 1,3 — підвищений, а 0,8% — високий та дуже високий (рис. 2).

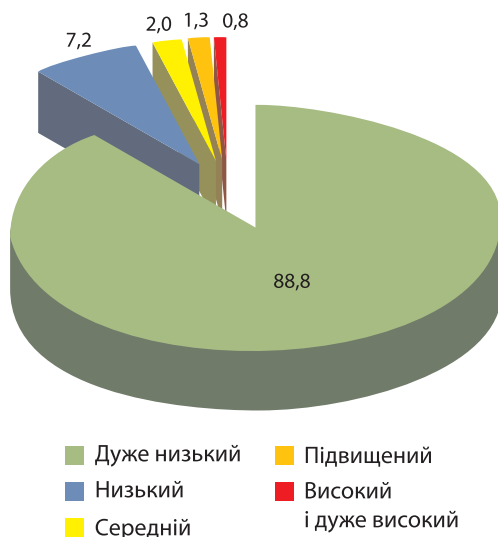


Рис. 2. Розподіл площ ґрунтів України за вмістом рухомих сполук цинку, %

Лише у Закарпатській та Львівській обл. середньозважений вміст рухомих форм цинку відповідає середньому та низькому рівням забезпеченості. Обстежені площі інших регіонів України забезпечені цинком на дуже низькому рівні (*табл.*). Так, у зоні власне Українського Полісся середньозважений показник уміс-

Характеристика ґрунтів за вмістом рухомих сполук цинку за результатами обстеження у 2016–2020 рр.

Область	Обстежена площа, тис. га	Площа земель сільськогосподарського призначення, віднесені за результатами обстеження до категорії забезпеченості, тис. га						Середньо- зважений показник, мг/кг ґрунту (ААБ* – рН 4,8)
		дуже низький <1,1 мг/кг	низький 1,1–1,5 мг/кг	середній 1,6–2,0 мг/кг	підвище- ний 2,1–3,0 мг/кг	високий 3,1–5,0 мг/кг	дуже високий >5,0 мг/ кг	
Волинська	273,1	220,6	36,0	9,3	5,3	2,0		0,72
Житомирська	419,1	416,6	2,5					0,42
Закарпатська	202,4	72,5	34,8	24,0	31,1	25,6	14,4	2,00
Івано- Франківська	216,1	161,8	32,3	12,4	6,5	2,7	0,4	0,80
Львівська	170,3	32,8	67,9	35,3	28,5	5,6	0,2	1,20
Рівненська	289,8	269,9	11,9	4,7	2,4	0,5	0,4	0,53
Чернігівська	324,6	312,9	9,4	1,6	0,7			0,53
Вінницька	536,4	531,3	3,7	0,9	0,5			0,60
Київська	654,7	590,8	35,9	12,4	8,9	5,1	1,5	0,70
Полтавська	371,7	363,9	7,0	0,7	0,1			0,50
Сумська	327,3	317,1	6,6	1,8	1,1	0,7		0,40
Тернопільська	317,3	251,4	49,1	12,8	3,9		0,1	0,90
Харківська	427,3	289,4	98,6	24,9	8,4	5,9	0,1	0,90
Хмельницька	466,6	454,0	9,0	1,9	0,8	0,8		0,50
Черкаська	409,9	392,3	12,4	3,4	1,8			0,40
Чернівецька	182,3	149,8	20,7	6,1	3,5	1,7	0,6	0,60
АР Крим**								
Дніпро- петровська	643,1	543,2	99,8					0,60
Донецька**								
Запорізька	467,9	467,9						0,60
Кіровоградська	410,0	409,8	0,1				0,1	0,28
Луганська**								
Миколаївська	551,9	535,1	7,1	6,0	2,0	1,3	0,4	0,40
Одеська	272,3	268,8	2,4	0,4	0,5		0,1	0,40
Херсонська	645,4	563,9	66,4	10,6	4,5		0,1	0,90

Примітка: * ААБ – ацетатно-амонійний буферний розчин; ** Інформація відсутня.

ту цинку в Житомирській обл. становив 0,42 мг/кг ґрунту, Рівненській і Чернігівській — по 0,53 мг/кг, Волинській — 0,72 мг/кг ґрунту.

Серед обстежених 1895,5 га сільськогосподарських угідь 78,4% ґрунтів мають дуже низький вміст рухомих сполук цинку, 10,3 — низький, 4,6 — середній, 3,9 — підвищений, 2,7% — високий і дуже високий. Варто зауважити, що Чернігівській обл. ґрунти двох останніх категорій відсутні, а в Житомирській визначено ґрунти лише з низьким (0,6% від обстежених площ) або дуже низьким (99,4%) вмістом рухомих сполук цинку.

У зоні Лісостепу найбільший вміст цинку відмічено в ґрунтах Тернопільської (0,85 мг/кг) і Харківської обл. (0,94 мг/кг). До категорії земель із дуже низьким забезпеченням належать 90,4% з 3693,5 тис. га обстежених площ, із низьким — 6,6%, середнім — 1,8%, землі, віднесені інших категорій, сумарно займають 1,3% досліджених угідь. У Вінницькій, Тернопільській, Черкаській і Полтавській обл. відсутні або майже відсутні землі, що можна віднести до категорії високого і дуже високого забезпечення рухомих цинком.

У зоні Степу обстежено 2990,6 тис. га земель сільськогосподарського призначення. З них 2788,7 тис. га (93,3%) забезпечені рухомих сполуками цинку на дуже низькому рівні, 5,9% — на низькому, інші категорії забезпечення 0,87% досліджених

площ. Серед регіонів зони найвищий рівень забезпеченості рухомих сполуками цинку встановлено лише в Херсонській обл. — 0,90 мг/кг ґрунту. Найнижчий рівень забезпеченості цинком зафіксовано у ґрунтах Кіровоградської обл. — 0,28 мг/кг ґрунту.

Тому, зберігається тенденція до зменшення вмісту рухомих форм цинку в ґрунтах України із півночі на південь — від ґрунтів із низьким вмістом органічної речовини, невеликою ємністю катіонного обміну та значеннями $pH < 5,5$ до ґрунтів із близькою до нейтральної та лужної реакції ґрунтового розчину, високим вмістом органічної речовини і вбирною ємністю.

Порівняння результатів трьох останніх турів агрохімічного обстеження дає змогу дійти висновку, що стабільне зростання демонструють лише групи ґрунтів із дуже низьким і низьким рівнем забезпечення цинком — від 85,1% у 2006–2010 рр. до 96,0% — у 2016–2020 рр., або на 10,9% (рис. 3).

Площі, які мають інші концентрації рухомих сполук у ґрунті істотно скоротилися: з середнім вмістом — майже у 5 разів (від 9,5% до 2,0%), з підвищеним — утричі (від 3,9% до 1,3%), з високим — удвічі (від 1,2 до 0,6%). Зростання у 2011–2015 рр. площ із високим (на 1,5%) та дуже високим (на 0,1%) вмістом цинку не знайшло підтвердження за результатами XI туру обстежень.

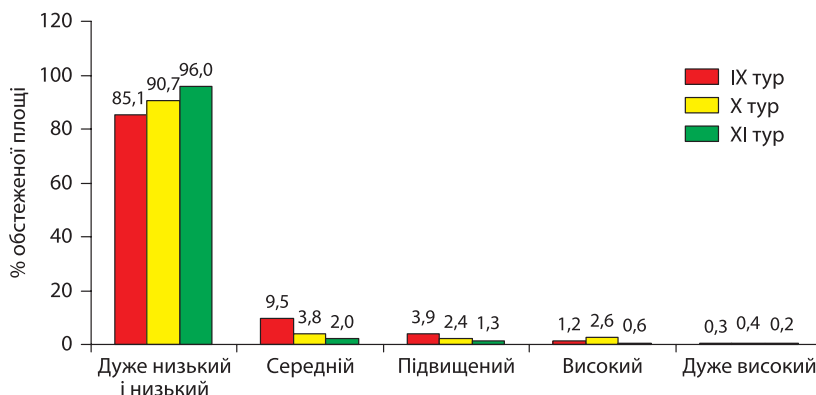


Рис. 3. Динаміка розподілу площ ґрунтів України за вмістом рухомих сполук цинку впродовж 2006–2020 рр. (IX–XI тури обстеження)

ВИСНОВКИ

Забезпеченість ґрунтів України рухомими формами цинку залишається стабільно низькою впродовж мінімум трьох останніх турів агрохімічного обстеження земель сільськогосподарського призначення (2006–2020 рр.). Водночас спостерігається негативна динаміка щодо цього показника у розрізі проаналізованих періодів. Тренд зниження показника середньозваженого вмісту рухомих сполук цинку загалом по Україні (0,64 мг/кг) становить 20% порівняно з попереднім туром досліджень. По агрокліматичних зонах зниження сягає: в Лісостепу (0,61 мг/кг) — на 29,1%, у Степу (0,57 мг/кг) — на 16,2%, в Карпатському регіоні та зоні Полісся (0,78 мг/кг) — на 18,8%. Лише у ґрунтах Закарпатської та Львівської обл. середньозважений вміст рухомих форм цинку відповідає середньому та низькому рівням забезпеченості. Аналіз результатів досліджень у розрізі адміністративних одиниць України засвідчив

відсутність сільськогосподарських земель із дуже високим вмістом рухомих сполук цинку у 10 областях, з високим — у 11, з підвищеним і середнім — у 4 регіонах нашої держави. Найвищий рівень забезпеченості цинком демонструють ґрунти Закарпатської обл., де середньозважений показник становить 2,00 мг/кг, найнижчий — Кіровоградської обл. — 0,28мг/кг. Отримані дані дають можливість агровиробникам побудувати політику господарювання з урахуванням дефіциту цинку в орних землях, убезпечити себе від недоотримання врожаїв та низької якості продукції.

Результати, висвітлені у статті, одержані до початку широкомасштабних бойових дій, тому не в змозі надати об'єктивну оцінку щодо вмісту цинку в місцях бойових зіткнень. Отже, наразі виникає нагальна необхідність широкого екологоагрохімічного обстеження земель, які постраждали внаслідок мілітарних дій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cakmak, I. (2008). Enrichment of Cereal Grains with Zinc: Agronomic or Genetic Biofortification? *Plant and Soil*, 302, 1–17. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3>.
2. Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., & Zhao, F. (2012). Chapter 7 — Function of nutrients: micronutrients. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, 191–248. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00007-8>.
3. Wessells, K. R., & Brown, K. H. (2012). Estimating the Global Prevalence of Zinc Deficiency: Results Based on Zinc Availability in National Food Supplies and the Prevalence of Stunting. *PLOS ONE* 7(11), e50568. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050568>.
4. Prasad, A. S. (2013). Discovery of Human Zinc Deficiency: Its Impact on Human Health and Disease. *Advances in nutrition*, 4, 176–190. DOI: <https://doi.org/10.3945/an.112.003210>.
5. Alloway, B. J. (2008). Zinc in soils and crop nutrition. International Fertilizer Industry Association. Second edition. 139 p. URL: <https://www.topsoils.co.nz/wp-content/uploads/2014/09/Zinc-in-Soils-and-Crop-Nutrition-Brian-J.-Alloway.pdf>.
6. Alloway, B. J. (2009). Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health*, 31, 537–548. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10653-009-9255-4>.
7. Khokhar, J. S., Broadley, M. R., & Ander, E. L. (2024) Soil zinc surveillance frameworks can inform human nutrition studies: opportunities in India. *Frontiers in Soil Science*, 4, 1421652. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1421652>.
8. Van, H. T., Hoang, V., Luong Thi, Q. N., & Nguyen, V. (2024). Effects of Zn pollution on soil: Pollution sources, impacts and solutions. *Results in Surfaces and Interfaces*, 17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsurfi.2024.100360>.
9. Kabata-Pendias, A. (2010). Trace elements in soils and plants: 4th Edition. Boca Raton. CRC Press. URL: <https://doi.org/10.1201/b10158>.
10. Gupta, S., Brazier, A. K. M., & Lowe, N. M. (2020). Zinc deficiency in low- and middle-income countries: prevalence and approaches for mitigation. *J. Hum. Nutr. Diet*. DOI: <https://doi.org/10.1111/jhn.12791>.
11. Khan, S. T., Malik, A., Alwarthan, A., & Shaik, M. R. (2022). The enormity of the zinc deficiency problem and available solutions; an overview. *Arabian Journal of Chemistry*, 15, 3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103668>.
12. Azouzi, R., Charef, A., & Hamzaoui, A. H. (2015). Assessment of effect of pH, temperature and organic matter on zinc mobility in a hydromorphic soil. *Environ Earth Sci*, 74, 2967–2980. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4328-4>.
13. Baran, A., Wieczorek, J., & Mazurek, R. (2018). Potential ecological risk assessment and predicting zinc accumulation in soils. *Environ Geochem Health*, 40, 435–450. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10653-017-9924-7>.
14. Hou, S., Zheng, N., & Tang, L. (2019). Effect of soil pH and organic matter content on heavy metals

- availability in maize (*Zea mays* L.) rhizospheric soil of non-ferrous metals smelting area. *Environ Monit Assess*, 191, 634. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7793-5>.
15. Xu, D., Shen, Z., & Dou, C. (2022). Effects of soil properties on heavy metal bioavailability and accumulation in crop grains under different farmland use patterns. *Sci Rep*, 12, 9211. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13140-1>.
 16. Hu, Z., & Gao, S. (2008). Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update. *Chemical Geology*, 253(3–4), 205–221. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.05.010>.
 17. Reimann, C., Fabian, K., Birke, M., Filzmoser, P., Demetriades, A., Négrel, P., ... Sadeghi, M. (2018). GEMAS: Establishing geochemical background and threshold for 53 chemical elements in European agricultural soil. *Applied geochemistry*, 88, 302–318. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.01.021>.
 18. De Vos, W., Tarvainen, T., Salminen, R., Reeder, S., De Vivo, B., Demetriades, A., ... Petersell, V. (2006). *Geochemical Atlas of Europe: Part 2: Interpretation of geochemical maps, additional tables, figures, maps, and related publications*. Espoo: Geological Survey of Finland.
 19. Luo, L., Ma, Y., Zhang, S., & Wei, D. (2009). An inventory of heavy metal inputs to agricultural soils in China. *Journal of environmental management*, 90, 2524–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.011>.
 20. Cicchella, D., Giaccio, L., Dinelli, E., Albanese, S., Lima, A., Zuzolo, D., ... De Vivo, B. (2015). GEMAS: Spatial distribution of chemical elements in agricultural and grazing land soil of Italy. *Journal of Geochemical Exploration*, 154, 129–142. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.11.009>.
 21. Nagajyoti, P. C., Lee, K. D. & Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environ. Chem. Lett.*, 8, 199–216. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10031-010-0297-8>.
 22. Mertens, J., & Smolders, E. (2013). Zinc. In: B. Alloway (Eds.), *Heavy Metals in Soils. Environmental Pollution*, 22. Springer, Dordrecht. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_17.
 23. Єгорова, Т. М. (2020). Вплив геохімічної спеціалізації гірських порід на екологічні особливості ґрунтів. *Агроекологічний журнал*, 2, 24–30. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207677>.
 24. FAO. 2020. Overview of soil conditions of arable land in Ukraine — Study case for steppe and forest-steppe zones. Budapest. DOI: <https://doi.org/10.4060/ca7761en>.
 25. Makarenko, N., Bondar, V., Makarenko, V., & Symochko, L. (2021). Zinc deficiency in soils of Ukraine: possible causes and regulatory mechanisms. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*, 11(4), 857–866. DOI: <https://doi.org/10.31407/ijees11.424>.
 26. Мірошніченко, М., & Коваленко, С. (2023). Просторово-часова нерівномірність забезпечення ґрунтів рухомими мікроелементами. *Вісник аграрної науки*, 4(841), 5–14. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202304-01>.
 27. Шумигай, І. В., Коніщук, В. В., & Душко, П. М. (2022). Біогеохімічні особливості важких металів агроєкосистем Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*, 4, 105–114. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2022.273256>.
 28. Козлик, Т. І., Дрозд, Б. Є., Романчук, Л. М., & Менчинський, Ю. С. (2024). Забезпеченість рухомими сполуками мікроелементів орних земель лісостепової зони Житомирської області. *Науковий збірник «Охорона ґрунтів». Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Моніторинг ґрунтів. Реалії, виклики, перспективи»* (с. 86–89). URL: https://www.iogu.gov.ua/literature/11_10_2024.pdf.
 29. Пятковська, І. О., Матвійчук, В. О., Налужний, Р. І., & Сончак, А. А. (2024). Забезпеченість ґрунтів Івано-Франківської області рухомими сполуками цинку. *Науковий збірник «Охорона ґрунтів». Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Моніторинг ґрунтів. Реалії, виклики, перспективи»* (с. 90–94). URL: https://www.iogu.gov.ua/literature/11_10_2024.pdf.
 30. Зайцев, Ю. О., Грищенко, О. М., Романова, С. А., & Зайцева, І. О. (2022). Вплив бойових дій на вміст валових форм важких металів у ґрунтах Сумського та Охтирського районів Сумської обл. *Агроекологічний журнал*, 3, 136–149. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266419>.
 31. Грищенко, О. М., Паламарчук, Р. П., Циганов, І. В., Сироватко В. О., & Яценко, Ю. М. (2024). Уміст важких металів у донних відкладах осушеного Каховського водосховища. *Агроекологічний журнал*, 1, 53–65. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2024.299939>.
 32. Яцук, І. П., & Балюк, С. А. (Ред.). (2019). *Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення* (2-ге вид.). Київ: Вік-Принт. URL: <https://www.iogu.gov.ua/literature/instructions/1.pdf>.
 33. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. (2005). [Чинний від 2005–07–01]. Київ: Держспоживстандарт України.
 34. ДСТУ 4770.2:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук цинку в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії. (2009). [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України.

Стаття надійшла до редакції журналу 15.07.2025

ABSTRACT

Drebot O., Korol O. Transformation of landscapes in the conditions of military conflicts. Agroecological journal. 2025. No. 3. P. 6–12.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: 9485805@ukr.net

According to scientists' estimates, more than fifteen thousand wars have taken place throughout human history, resulting not only in human and material losses, but also in the alteration, degradation and destruction of natural landscapes and entire ecosystems. Military actions disrupt the functioning of all natural life support systems, affecting the integrity of interrelationships in the biosphere, the state of natural resources, the rate of their reproduction, etc. Practical research into the military impact on natural landscapes is very dangerous, so most modern scientists limit themselves to general theoretical assessments. The article systematises and summarises the main direct and indirect impacts of military actions on natural landscapes. Military conflicts have a complex negative impact on the state of landscapes, leading to the destruction of forests, pollution of water resources and soils, destruction of biodiversity, and deterioration of air quality due to explosions, fires and the use of toxic substances. In addition, military actions destroy protected areas and forest areas, as well as lead to the pollution of agricultural land and the formation of significant amounts of hazardous waste. Bombing and artillery strikes leave behind pollution in the form of heavy metals and other toxic substances. Such substances enter the soil and water layers, threatening not only flora and fauna, but also human health. Anthropogenic landscapes of any type, including those formed as a result of military operations, although created by humans, were formed and function in specific natural conditions and in close interaction with existing landscapes. As a result, an important feature of their study is the consideration of both natural and socio-historical factors. Research into the anthropogenic transformation of natural landscapes in the context of military conflicts stimulates the development of new technologies for the restoration and protection of the natural environment. Attention is also paid to the remote and cumulative effects that manifest themselves beyond the zones of direct combat operations as a result of cross-border migration of pollutants, fragmentation of natural habitats and loss of biodiversity at the regional and global levels. In view of the identified environmental threats, the need to develop and implement comprehensive strategies for monitoring, assessing and restoring natural landscapes in the post-war period, taking into account modern scientific approaches, innovative technologies for environmental restoration and international experience, is emphasised.

Key words: military actions, environmental consequences, ecological risks, degradation, pollution, restoration.

Levandovska S.¹, Ryk T.², Kliuchka S.³ Impact of climate change on game populations. Agroecological journal. 2025. No. 3. P. 13–19.

¹*Bila Tserkva National Agrarian University*

²*Andrei Krupynskyi Medical Academy of Lviv*

³*Cherkasy State Technological University*

e-mail: svtmzel@gmail.com

Animals are acutely feeling the effects of climate change. As temperatures rise, weather conditions become increasingly extreme, making it difficult for many species to adapt to such changes. Against the background of increasing anthropogenic pressure and global climate change, destructive dynamics in the world of wild animals are becoming inevitable, which finds practical expression in negative trends in the development and reproduction of the vast majority of game animals, the narrowing of their natural habitats, and the reduction of populations. The aim of the study is to analyze the impact of climate change on the dynamics of game animal populations and develop measures to increase their resilience. The methodology is based on analytical and synthetic methods, comparison, generalization, systematization, and abstraction, which allowed us to study the cause-and-effect relationships, prerequisites, and determinants. The article characterizes the main practical consequences of global climate change for ecosystems, determines the directions of negative dynamics in game populations due to global warming. The issue is actualized against the background of active hostilities in Ukraine, which directly and indirectly exacerbate the manifestations of negative climate change. The analysis of statistical data from official sources has revealed the low effectiveness of population restoration strategies within hunting grounds in the regions, which is confirmed by zero and sometimes negative population numbers of the main game species. The key innovative approaches to regenerating game animal populations in forest ecosystems in the face of negative global climate dynamics are investigated, including by improving the regulatory framework, ensuring the protection of game animals during the implementation of climate change programs, planning and implementing projects for the protection and use of natural resources, optimizing environmental impact assessment procedures, joining international activities to stabilize climate processes and reduce emissions. In the case of a decrease in population numbers and density, the main regeneration strategy should be to promptly increase the quantitative indicators to the optimal level and subsequently maintain the population density at the required level for the long term. At

the same time, maximum biological productivity and the absence of signs of animal degradation should be ensured. The role of the rational organization of forestry in the fight against climate change is substantiated. The key goals of the perspective development of forestry in the studied context are determined.

Key words: land, management strategy, regeneration, population size, population density, anthropogenic pressure, global warming, forest ecosystems.

Nakonechnyi I.¹, Grushyna O.², Myropolskyi I.³ Ecological characteristics and ecosystem services of lake Somytske (NNP «Puscha Radzyvyla», Rivne Region). Agroecological journal. 2025. No. 3. P. 20–31.

^{1,2}Admiral Makarov National University
of Shipbuilding

³ National Natural Park "Pushcha Radzyvyla"

e-mail: nakonechniigor777@gmail.com

The forest tract Somytske and the small lake of the same name with an area of 2.8 hectares is located in the Polissya Pushcha Radzyvyla National Park in the Rivne region of Ukraine. The remoteness of these areas, their sparseness and boundary regime have contributed to the preservation of their typical regional landscape and natural biodiversity with a large proportion of rare endemic plants and animals. At the same time, the same reasons have led to limited information coverage of the newly created National Park and its unique components, so the purpose of this study was to investigate the general ecological characteristics and complex of ecosystem services of the tract and Lake Somytske. The research was carried out in different seasonal field surveys in 2024–2025, during which the abiotic conditions of the territory, landscape specifics, hydroecological, floristic and faunal characteristics were studied. The important ecosystem significance of the small forest lake Somytske was established, which provides such services as: regulating water flow and reserves; improving the quality of surface and groundwater; improving water infiltration, promoting water accumulation in the soil and groundwater recharge; reducing erosion and the likelihood of landslides. Cultural, recreational, tourist and local history services are also identified separately. The tract and the unique natural lake have significant recreational potential and, due to its inaccessibility, are attractive to tourists and fishermen, while at the same time requiring careful and timely regulation of the recreational load. The studied area of the Park is the habitat of rare plant associations, consisting of 19 protected species and home to a variety of animals, including 28 protected species, including 19 from the IUCN Red List. In summer, Lake Somytske serves as an important watering place for animals, a reserve for waterfowl, and in autumn and spring it is a transit resting and feeding place for migratory birds. The tract is especially valuable due to the settled presence of such rare animals as lynx, white hare, black stork,

gray crane, redshank, grouse and wood grouse. Their presence demonstrates the positive consequences of the creation of the Park, whose activities are aimed at preserving and restoring the natural marsh and forest complexes of Polissia.

Key words: NRF of Rivne region, Northern Polissia, forest ecosystems, rare biota of Ukraine, biodiversity, characteristics of forest lakes.

Pidlisnyuk V.¹, Stefanovska T.², Janse L.^{3,4}, Medkov A.⁴ Bioenergetic, ecological, and agronomic value of *Miscanthus × giganteus* Greef et Deu in sustainable land use. Agroecological journal. 2025. No. 3. P. 32–40.

¹Jan Evangelista Purkyně University, Ústí nad Labem, Czech Republic

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

³National Academy of Agrarian Sciences

⁴Institute of Agroecology and Environmental Management of the NAAS

e-mail: a.medkov@gmail.com

Addressing the challenges of land degradation, energy transition, and sustainable agriculture requires innovative, multifunctional crops. *Miscanthus × giganteus* ($M \times g$) has emerged as a particularly promising candidate, offering both substantial bioenergy potential and significant contributions to environmental restoration. Rather than competing with food crops for arable land, $M \times g$ thrives on marginal and low-quality soils, offering a low-input cultivation model with high biomass yield. This species is particularly valued for its contribution to carbon mitigation strategies. Its deep root system enables long-term carbon storage in soils while improving structure, fertility, and resistance to erosion. $M \times g$ also exhibits phytoremediation potential through the phytoextraction, making it suitable for rehabilitating contaminated or overused lands. Beyond combustion-based energy, $M \times g$ biomass serves as a feedstock for a variety of industrial and agricultural products. These include but are not limited to insulation boards, biodegradable packaging, animal bedding, molded bio-composites, second-generation bioethanol, biogas. The material's versatility makes it in green manufacturing and sustainable construction. Recent research has expanded interest in how plant biostimulants and growth regulators can further optimize $M \times g$ performance under stress conditions. This adaptability and broad utility position $M \times g$ as a strategic crop for integrated land use systems. Furthermore, there is growing promise in using *Miscanthus* for biochar production, which can further enhance its role in sustainable agriculture and carbon sequestration. This dual functionality — as a renewable energy source and a tool for soil improvement — makes $M \times g$ a valuable asset in efforts to mitigate climate change while enhancing the resilience of agroecosystems.

K e y w o r d s: energy culture, bioenergy production, phytoremediation, biostimulants, soil quality improvement.

Vysochanska M., Hurin O. Adverse factors and barriers to the development and structuring of the energy efficiency mechanism in the agricultural sector. *Agroecological journal*. 2025. No. 3. P. 41–50.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: mariya_vysochanska@ukr.net

This article provides an in-depth study of the multifaceted destructive factors, structural barriers, and systemic dysfunctions that impede the structuring and implementation of an effective organizational and economic mechanism for energy efficiency in Ukraine's agricultural sector. Recognizing the strategic importance of the agro-industrial complex for national food security and post-war recovery, the research identifies and classifies five key groups of barriers (institutional, economic, technological and human resource-related, socio-spatial, and military-economic) each of which exerts a differentiated impact during wartime and post-war periods. The study develops a matrix of cause-and-effect relationships between threats and consequences, enabling a holistic understanding of how these obstacles affect the functional design and adaptive capacity of organizational and economic mechanism for energy efficiency under conditions of war, reconstruction, and hybrid systemic disruptions. By constructing a comparative assessment of these influences across the stages of sectoral transformation, the article offers a robust scenario-based framework for overcoming identified dysfunctions. These scenario approaches are tailored to the evolving strategic context and emphasize flexible, preventive, and resilient responses. The proposed measures incorporate not only technical and financial components, but also spatial, institutional, and behavioral dimensions that are often overlooked in conventional policy design. Furthermore, the research emphasizes the role of multi-level governance, strategic foresight, and iterative recalibration of intervention instruments to account for rapidly changing security, energy, and socio-economic environments. Ultimately, the article substantiates the necessity of phased and spatially sensitive strategic planning for the implementation of organizational and economic mechanism for energy efficiency tools as a cornerstone of green transformation in Ukraine's agrarian domain. The practical outcomes of this research offer valuable guidance for policymakers, local authorities, agricultural enterprises, and academic institutions seeking to align energy transition goals with national reconstruction objectives, sustainable resource management, and rural resilience under the conditions of war and beyond.

K e y w o r d s: agricultural sector of Ukraine; energy efficiency; organizational and economic

mechanism; destructive factors; wartime risks; structuring; strategic planning; implementation barriers; scenario-based approaches; sustainable agricultural production.

Iliencko T., Sherstyuk D. Climate change indicators based on satellite monitoring data. *Agroecological journal*. 2025. No. 3. P. 51–66.

Institute of Agroecology and Environmental Management of the NAAS

e-mail: tilienko@gmail.com

This study examines the impact of climate change on natural and agricultural ecosystems in Ukraine through satellite remote sensing and geospatial technologies. The primary objective was to determine spatiotemporal patterns of ecological transformations induced by climate warming, with emphasis on land surface temperature trends, vegetation dynamics, water availability, and invasive species distribution. The integration of satellite-derived information proves essential for comprehensive monitoring of climate change impacts on agroecosystems, providing unprecedented spatial coverage and temporal continuity for detecting environmental changes at regional scales. The research was conducted using GIS technologies, satellite observation systems, and data collection through Giovanni, Copernicus, and EO BROWSER databases. Temperature data from the AIRS satellite (2010–2025), processed through the NASA Giovanni platform, revealed consistent increases in mean monthly surface temperatures, reduced snow cover duration, and intensified summer heat waves. Vegetation dynamics were assessed using NDVI, NDWI, and NDMI indices derived from Sentinel-2 imagery through EO Browser and Copernicus platforms. Results for Rivne Oblast indicate a notable extension of the growing season by more than one month, demonstrating adaptive shifts in vegetation development to new climatic conditions. In Odesa Oblast, significant decreases in plant moisture content (NDMI) were recorded, alongside reduced precipitation and surface water area, exemplified by the desiccation of Lake Putrene. This indicates growing drought risk and water stress in agricultural landscapes. The study also examined biological responses to climate change, focusing on the invasive freshwater snail *Potamopyrgus antipodarum*. A clear correlation was identified between regional warming trends and rapid population growth and spatial expansion of this species in Volyn and Odesa oblasts. Data suggest that milder winters and narrower temperature ranges created favorable thermal conditions facilitating successful colonization. Comprehensive analysis of satellite data for the period 2010–2025 unequivocally confirms the presence of significant climate changes across Ukraine's territory. The satellite-based monitoring approach demonstrates critical importance for early detection and quantification of climate-induced changes in agroecosystems, enabling timely imple-

mentation of adaptive management strategies. The identified trends—temperature increases, transformation of vegetation cycles, invasive species expansion, and water resource degradation — require immediate implementation of adaptive measures and comprehensive natural resource management strategies. Overall, the research underscores the potential of satellite monitoring for detecting climate-related ecological changes and highlights the indispensable role of remote sensing technologies in understanding complex interactions between climate variability and ecosystem responses. The study's findings emphasize the urgent need for continuous environmental monitoring, adaptive ecosystem management, and scientifically-grounded strategies for climate change mitigation in Ukraine.

Key words: remote sensing of the Earth, NDVI, NDMI, NDWI, vegetation cover condition, invasive species, droughts.

Serhiichuk N., Kolomiets Y. Modern approaches to enhancing the biosynthetic potential of *Streptomyces avermitilis*. Agroecological journal. 2025. No. 3. P. 67–72.

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

e-mail: nataliiaserhiichuk@gmail.com

Streptomyces avermitilis is one of the most intensively studied actinobacteria due to its ability to produce a wide range of bioactive secondary metabolites, including antibiotics and avermectins, which are valuable in medicine, veterinary practice, and agriculture. Enhancing the biosynthetic potential of *S. avermitilis* is a key direction in modern biotechnology. This study aims to analyze current approaches to improving the biosynthetic capacity of *S. avermitilis* and to highlight the role of exogenous metabolites in optimizing the production of valuable compounds. A critical review of recent scientific literature was conducted to summarize genetic, metabolic, and cultivation strategies for increasing the yield of target metabolites. Particular attention was given to the supplementation of exogenous metabolites and their influence on biosynthetic pathways. An analysis of recent scientific literature was conducted to identify effective approaches for enhancing the biosynthetic potential during the cultivation of *Streptomyces avermitilis*. Among the vast diversity of streptomycetes, which play a key role in modern biotechnology and medicine, *S. avermitilis* strains are the most extensively studied due to their ability to synthesize a wide range of biologically active compounds, including antibiotics and other valuable metabolites such as avermectin. Effective strategies for improving the production of beneficial metabolites by *S. avermitilis* include genetic manipulations and optimization of the cultivation medium, particularly through the use of exogenous metabolites. The combination of metabolic engineering approaches targeting specific

genes involved in nutrient supply with supplementation strategies has been recognized as highly effective for optimizing the production of target compounds in *Streptomyces* strains. The concept of exogenous metabolites and their importance for enhancing the biosynthetic potential of *S. avermitilis* is examined in detail, offering new perspectives for process optimization and increasing yields of valuable products. Research findings indicate that the addition of exogenous metabolites represents a promising direction for intensifying the production of secondary metabolites in biotechnological processes. These metabolites may act as precursors for target compound synthesis or influence enzymatic pathways, thereby improving the efficiency and reaction rates. At the same time, it should be noted that the impact of exogenous metabolites can be complex and depends on the specific type and concentration of the metabolite introduced. Further studies on the interaction of exogenous metabolites with *S. avermitilis* cultures may contribute to the development of novel strategies for optimizing the production of valuable bioactive compounds. Understanding the effects of exogenous metabolites on the biosynthetic potential of microorganisms is crucial for the future advancement of biotechnology and medicine, particularly for the Ukrainian strain *S. avermitilis* IMV Ac-5015, which is of significant importance in medicine, veterinary practice, and agriculture. Optimization of the composition and concentration of exogenous metabolites, as well as a deeper understanding of their effects on biosynthetic pathways, remains an important area for future research in this field.

Key words: *Streptomyces*, microbial biotechnology, biosynthesis, exogenous metabolites, biologically active compounds.

Starodub V., Tkach E. Ecological assessment of technologies for growing agricultural crops based on a complex of phytosanitary indicators. Agroecological journal. 2025. No. 3. P. 73–83.

Institute of Agroecology and Environmental Management of the NAAS

e-mail: myrzavica88@ukr.net

This article presents the results of an ecological assessment of modern agricultural crop cultivation technologies (winter wheat, spring rapeseed, corn, sunflower, soybean, buckwheat) based on a complex of phytosanitary indicators. It was determined that under conditions of increasing anthropogenic load and global challenges (demographic and climate change, evolution of resistant pests, diseases, and weeds), the intensive use of agrochemicals makes the phytosanitary state of agroecosystems a critical factor affecting the quality, yield, and ecological sustainability of agroecosystems in Ukraine. The research was conducted on the agricultural lands of the Skvyra Experimental Station for Organic Production (SESOP, Skvyra) during the growing seasons of 2023–2024. The studies

analyzed the weed-critical periods of crops, the species composition and level of weediness in crops, and identified dominant weed species, including scentless chamomile, sticky brome, common lambsquarters, creeping thistle, and others. The spread and intensity of damage by pests and diseases were determined. Key pests observed were cereal thrips and red-breasted cereal leaf beetle for winter wheat, and crucifer fleas and pollen beetle for spring rapeseed. Common diseases included fusarium head blight and powdery mildew for winter wheat, and white mold and gray mold for spring rapeseed. Based on phytosanitary indicators (disease prevalence, pests, crop weediness), a scoring system for ecological assessment of technologies was applied: Class I – unsatisfactory, Class II – satisfactory, Class III – normal. It was established that the phytosanitary state of organic winter wheat, spring rapeseed, and buckwheat crops is characterized by an unsatisfactory (1 point) or satisfactory (2 points) condition, especially in terms of weediness and disease prevalence. For corn, sunflower, and soybean, a range from unsatisfactory to normal was observed, with the best indicators achieved through the comprehensive application of fertilizers and plant protection products. The ecological assessment of agricultural crop cultivation technologies demonstrates that further improvement of agrotechnologies is necessary to achieve an optimal phytosanitary state of crops and increase the ecological sustainability of agroecosystems. This should be achieved by integrating preventive approaches into plant protection systems, with mandatory consideration of local growing conditions, biological characteristics of crops, and the dynamics of harmful organism populations.

Key words: agroecosis, pests, diseases, weeds, phytobiota, economic threshold of harmfulness.

Morozova T.¹, Mudrak O.², Mudrak G.³ Assessment of the allelopathic and phytotoxic effects of *Ambrosia artemisiifolia* L. residues on seed germination of key agricultural crops. Agroecological journal. 2025. No. 3. P. 84–98.

¹ State Scientific Institution
«Institute of Ecological Restoration
and Development of Ukraine»

² KHEI «Vinnytsia Academy of Continuing
Education»

³ Vinnytsia National Agrarian University

Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is widely recognized as one of the most problematic invasive alien species in temperate agroecosystems, owing to its capacity to reduce crop productivity and alter plant community dynamics through the release of biologically active secondary metabolites allelochemicals. These compounds, exuded through roots or leached from decomposing aboveground biomass, can impair the germination and early growth of co-occurring plants against three agriculturally important crops: *Triticum aestivum* L. (wheat), *Phaseolus vulgaris* L.

(common bean), and *Zea mays* L. (maize). Extracts were obtained using four methods 24-hour maceration, 1-hour extraction, thermal treatment in a water bath, and soaking of dried biomass across concentration levels of 1%, 2.5%, 5%, and 10% (w/v). Germination energy (GE) and final laboratory germination percentage (G) were measured under controlled conditions. Allelopathic strength was expressed in Conditional Coumarin Units (CCUs), a standardized metric enabling quantitative comparison between treatments. The results demonstrated pronounced interspecific and organ-specific variability in allelopathic response. The most severe inhibition occurred with 24-hour extracts from inflorescences and roots, which caused near-complete germination failure in *T. aestivum* L. at 5–10% concentrations. *P. vulgaris* L. exhibited intermediate sensitivity, with significant GE and G suppression under high-concentration inflorescence and root extracts but less pronounced inhibition from stems and leaves. *Z. mays* L. was consistently the most tolerant species, showing minimal reductions in germination metrics even under the strongest treatments. The ranking of organs by phytotoxic potential followed the pattern: inflorescences > roots > stems > leaves. Statistical analysis (ANOVA) confirmed that both the extraction method and plant organ had significant effects on CCU values ($p < 0.05$). Notably, 24-hour maceration consistently yielded the most potent extracts, likely due to maximal release of hydrophilic allelochemicals. The exceptional potency of generative organs (inflorescences) is plausibly linked to their elevated concentrations of sesquiterpenes, flavonoids, and polyacetyles, compounds frequently implicated in plant–plant interference. These findings are consistent with the «novel weapon hypothesis», which posits that invasive species may gain a competitive advantage in non-native ranges by producing allelochemicals unfamiliar to local flora, thereby evading evolved resistance mechanisms. From an applied perspective, the pronounced sensitivity of *T. aestivum* L. to ragweed allelochemicals highlights its potential as a bioindicator species for allelopathic field monitoring. Furthermore, the identification of inflorescences as the most phytotoxic organ suggests that reproductive biomass removal could be prioritized in weed management strategies to mitigate both seed dispersal and chemical interference. Overall, this study contributes to the growing body of evidence that *A. artemisiifolia* L. exerts substantial allelopathic pressure on certain crops. It emphasizes the need for integrating phytotoxicity screening into invasive species risk assessment protocols and for implementing targeted control measures focused on the most chemically potent plant parts. Such approaches may improve early detection, guide sustainable management, and reduce the agroecological risks posed by this globally expanding weed.

Key words: invasive species, secondary metabolites, conditional coumarin units, extraction methods,

crop tolerance, biomonitoring, weed biocontrol, sesquiterpenoids, phytotoxins, agroecological risk.

Lishchuk A., Parfeniuk A., Karachynska N. Intensity of sporulation of phytopathogenic micromycetes on cereal seeds as an indicator of ecological risk in agroecosystems. *Agroecological journal*. 2025. No. 3. P. 99–109.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: lishchuk.alla.n@gmail.com

The article demonstrates that increasing ecological risks in modern agriculture lead to disruptions in the stability of agroecosystems. Ecological risks are complex, as they are caused by the simultaneous influence of abiotic, biotic, and anthropogenic factors. Biotic factors, particularly phytopathogenic microorganisms, which form a complex biological environment in agroecosystems, require special attention. It is proven that their activity causes disruptions in trophic links and shifts the balance between crops and the phytopathogenic microbiome. Consequently, this increases the level of ecological risks. Under conditions of climate change and increased anthropogenic pressure, the influence of biotic factors becomes less predictable. This creates additional physiological stress on cultivated plants and complicates the regulation of ecological risks. It has been found that the disruption of phytosanitary stability, caused by biological contamination of the agroecosystem, is often the root cause of yield reduction and deterioration of product quality, while the increasing populations of phytopathogenic microorganisms deepen ecological risks, caused by the disturbance of ecological balance and a decrease in agroecosystem productivity. The impact of biological contamination caused by the intensity of sporulation of phytopathogenic micromycetes on the seeds of spring barley and oats on the formation of ecological risks in agroecosystems has been analyzed. The aim of this study is to assess the level of ecological risk in cereal agroecosystems and to substantiate approaches for its minimization. It was found that varietal characteristics play a key role not only in the formation of the phytopathogenic seed microbiome but also in determining the potential ecological risk. Research results revealed a clear linear statistical correlation between the intensity of phytopathogenic micromycete sporulation (measured in millions of conidia per ml) and the level of ecological risk (evaluated in points) for both studied crops. This confirms that the sporulation intensity index can be used as a reliable quantitative indicator of agroecosystem ecological safety. It was established that certain cultivars of spring barley (Salyut and Bohun) and oats (Svitnok, Parlamentskyi, and Tembr) are characterized by significant or high ecological risk due to intensive sporulation. Dangerous species of *Fusarium* were identified (notably *F. culmorum*, *F. sporotrichioides* and *F. graminearum*), which are capable of producing

mycotoxins, emphasizing the potential threat of ecological risk formation within the agroecosystem. The obtained data have substantial practical value for development and optimization of management strategies in crop phytosanitary. In particular, the findings highlight the need to consider varietal specificity of seed material, contamination of seeds by phytopathogenic microorganisms, and the implementation of effective crop rotation systems to prevent epiphytotic outbreaks. These approaches are essential for reducing the dependency of agroecosystems on chemical plant protection products, minimizing ecological risks, and ensuring sustainable agricultural development.

Key words: biotic factors, phytopathogenic microorganisms, infectious structures, varietal characteristics, phytosanitary status, cereal crops, biological contamination of agroecosystems, ecological safety.

Havryliuk L.¹, Gentosh D.², Bashta O.² Scientific research on essential oils and their components for practical application in medicine. *Agroecological journal*. 2025. No. 3. P. 110–117.

¹*Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

²*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

e-mail: gavrilukhilia410@gmail.com

The article reviews the current state of scientific research on medicinal and essential oil crops, which are an important component of the pharmaceutical, food and cosmetic industries. Particular attention is paid to the analysis of scientific literature of recent years, covering a wide range of topics related to the study of morphological and anatomical, phytochemical and pharmacological properties of these plants. Key areas of scientific work are revealed, in particular, the study of biologically active substances of natural origin, which have the potential to create new medicines. The medicinal properties of these substances are described, including antimicrobial, antioxidant, anti-inflammatory, antispasmodic, sedative and allelopathic effects, which opens up new opportunities for the use of these crops in medicine and agriculture. Particular attention is paid to the study of representatives of the *Asteraceae*, *Lamiaceae*, *Lauraceae* families, which are the most studied in terms of the content of essential oils and medicinal components. The prospects for further study of genetic, biochemical and agrotechnical aspects of their cultivation in order to improve the quality and efficiency of the obtained raw materials are shown. Thus, the study of medicinal and essential oil plants remains a priority area of modern science, uniting the efforts of botanists, chemists, pharmacologists and farmers to achieve a common goal – the rational use of natural resources to improve human health and preserve biodiversity. Considerable attention is paid to the potential for the use of essential oils and phytochemicals in various fields, namely in medicine, the pharmaceutical in-

dustry, agriculture and environmentally friendly technologies. In addition, scientists are developing environmentally safe biological products based on allelochemicals that can replace traditional synthetic agents, because due to the negative consequences of the long-term use of synthetic herbicides, which disrupt the ecological balance, cause soil degradation, water pollution and the accumulation of toxic substances in the food chain, more and more attention is paid to the search for environmentally safe alternatives. One of the promising areas is the use of essential oils that have a pronounced allelopathic potential. These natural compounds are able to suppress the growth of weeds and harmful microorganisms due to the content of bioactive components, such as terpenes, phenols and aldehydes. The use of essential oils as natural herbicides opens up opportunities for the creation of new plant protection products that are biodegradable, non-toxic and safe for both the environment and human health. In addition, such drugs do not cause resistance in weeds, which is an important advantage compared to chemical analogues. Thus, the introduction of essential oils into agricultural practice can be an important step towards sustainable agriculture and the biologization of agriculture.

Key words: medicinal and essential oil plants, bioactive substances, antimicrobial effect, antioxidant effect, anti-inflammatory and allelopathic effect.

Hunchak M.¹, Pasichnyak V.², Mamenko P.³, Kolydyazhny O.³ Ecology and economic efficiency of applying microbial preparations for protection of apple tree against aphids. *Agroecological journal*. 2025. No. 3. P. 118–125.

¹Chernivtsi Regional Center of the State Institution «Institute of Soil Protection of Ukraine»

²South-Western Interregional Center of the State Institution «Institute of Soil Protection of Ukraine»

³Institute of Agroecology and Nature Management of NAAS

e-mail: chernivtsy_grunt@ukr.net

The economic efficiency indicators of various microbial preparations for protecting apple trees from green and gray apple aphids in 2021–2023 in the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine were studied. The highest efficiency of action against green apple aphids was obtained by using the biological preparation Biospectr BT, r. at a rate of 10.0 l/ha – 73.2%, and against gray apple aphids the most effective was the action of a mixture of preparations Boverin BT, r. at a rate of 10.0 l/ha and Metarizin BT, r. at a rate of 3.0 l/ha – 64.1%. The results of the studies showed that the use of the bioinsecticide Actofit BT, r. at a rate of 2.0–4.0 l/ha 7 days after treatment reduced the number of green apple aphids by 44.3–66.8% and gray apple aphids by 41.1–56.8%. The effectiveness of Boverin BT, r. at a rate of 20.0 l/ha

against green apple aphids was 54.2–61.2% and against gray apple aphids – 44.7–52.2%. In the study of Metarizin BT, r. at a rate of 4.0 l/ha, the effectiveness against green apple aphids was 30.4–38.6% and against gray apple aphids – 33.5–35.3%, which was the lowest among the studied systems. The use of the bioinsecticide Bitoxibacillin BT, r. at a rate of 3.0–5.0 l/ha reduced the number of green apple aphids by 45.5–72.8% and gray apple aphids by 43.1–60.0%. The effectiveness of Biospectr BT, r. at a rate of 3.0–10.0 l/ha against green apple aphids was 56.6–73.2% and against gray apple aphids – 50.1–61.3%. All studied biological preparations showed high indicators of conditional net income and profitability. The highest economic efficiency was obtained when using the bioinsecticide Bitoxibacillin BT, r. at a rate of 5.0 l/ha: 4473.0 UAH/ha of conditional net income and 244.8% of profitability of protective measures. The lowest conditional net income among the applied biological products was obtained from the application of the preparation Metarizin BT, r. at a rate of 4.0 l/ha – 1125.0 UAH/ha, and the lowest profitability was obtained from the application of Boverin BT, r. at a rate of 20.0 l/ha – 28.4%. The use of Actofit BT, r. ensured the receipt of income from 2529.0 to 3177.0 UAH/ha and profitability indicators from 236.1 to 259.7%. When using a mixture of Boverin BT, r. and Metarizin BT, r., a conditional net income of 3741.0 UAH/ha and profitability of 225.5% was obtained. When spraying with Bitoxibacillin BT, r. they received a conditional net income of 3177.0–4473.0 UAH/ha and a profitability of 240.1–244.8%, and when applying Biospectr BT, r. – 2733.0–3663.0 UAH/ha and 61.2–210.9%. The yield of apple plantations when using the studied biological products was 11.7–12.2 t/ha.

Key words: biological protection method, fruit plantations, phytophagous pests, economic analysis, yield.

Palamarchuk R.¹, Horodyska I.², Beznosko I.² Influence of fertilizer rate on the agroecological condition of sod-podzol soil under 5-pillar crop rotation crops. *Agroecological journal*. 2025. No. 3. P. 126–134.

¹State Institution «Institute of Soil Protection of Ukraine»

²Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: prp777@ukr.net

The study was conducted on sod-podzolic soil in a stationary experiment established in 2015 (the village of Khrystynivka, Narodyt'skyi district, Zhytomyr region), the territory of which belongs to the 2nd zone of radioactive contamination. The technology of growing agricultural crops in the experiment is generally accepted and recommended for the research area. In the variants provided for by the research scheme, chemical plant protection products were used to grow competitive marketable products. The results of research conducted in a stationary field

experiment during 2015–2019 convincingly indicate that the application of dolomite flour at a dose of 5 t/ha, the application of cattle humus at a dose of 8 t/ha in 2014, and the applied fertilizer rates for agricultural crops of a 5-crop grain-row crop rotation (oats – lupine – spring triticale – fodder beet – corn for grain) during the research period and the crop rotation factor had a positive effect on reducing the density of contamination of sod-podzolic soil with cesium-137 and strontium-90. In particular, at the 1st fertilizer rate, the density of ^{137}Cs was the lowest and amounted to 881.6–916.1 kBq/m², depending on the studied crop rotation crops, while the density of ^{90}Sr at the same fertilizer rate was at the level of 15.8 to 17.0 kBq/m² with a higher concentration of radionuclides in the control. The content of mobile lead forms in sod-podzolic soil ranged from 0.75 to 0.86 mg/kg, cadmium from 0.028 to 0.046 mg/kg of soil with a greater accumulation of these elements in corn crops, while the content of mobile mercury forms was at the level of 0.0027 to 0.0034 mg/kg with the lowest accumulation under corn crops in a 5-field crop rotation – 0.0028–0.0032 mg/kg of soil. Thus, the rational use of mineral fertilizers in conditions of radioactive contamination contributes not only to increasing crop productivity, but also to reducing the concentration of radionuclides and toxic elements in trophic chains, which is an important factor in stabilizing agroecosystems in post-radiation regions.

Key words: radionuclides, heavy metals, intensification, agrocenosis, ecological safety, agriculture.

Tymoshenko O. Effect of row spacing and different rates of nitrogen fertilizers on the growth and development of common sage (*Salvia officinalis* L.). Agroecological journal. 2025. No. 3. P. 135–145.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: ttlife25082017@gmail.com

This article presents the results of a study on the impact of agrotechnical factors – specifically, row spacing (45 and 70 cm) and nitrogen fertilizer application rates (0, 30, 60, 90, and 120 kg/ha) – on the growth and development of *Salvia officinalis* L. (common sage) during the first year of vegetation in the central part of the Forest-Steppe zone of Ukraine (Poltava region). The research involved monitoring the dynamics of key biometric parameters throughout the growing season (May to September), including plant height, leaf area, fresh aboveground biomass, and fresh root weight. The findings revealed that both row spacing and nitrogen nutrition levels significantly affected plant growth, particularly the formation of vegetative biomass and leaf surface area. Wider row spacing (70 cm) created more favorable conditions for light penetration, air circulation, and reduced interplant competition. These conditions promoted more vigorous growth and supported the development of a well-structured canopy and root system.

The highest biometric indicators were recorded in the variant with 70 cm row spacing combined with a nitrogen application rate of 120 kg/ha. Under these conditions, the fresh aboveground mass reached 84.6 g per plant, leaf area was 0.1103 m² per plant, root mass was 21.1 g per plant, and plant height reached 33.2 cm by September. These results suggest that sage plants responded positively to both the wider spacing and higher nitrogen availability, which together contributed to increased photosynthetic surface and biomass accumulation. A comparative analysis between the 45 cm and 70 cm row spacing variants confirmed the advantage of the wider spacing when adequate nitrogen was supplied. The most intensive biomass and leaf area growth was observed during June and July, corresponding with the active vegetative phase of sage development. Growth rates gradually declined toward the end of the season, consistent with the plant's phenological development. The study demonstrates the high efficiency of combining a 70 cm row spacing with a nitrogen fertilizer rate of 120 kg/ha for cultivating *Salvia officinalis* during its initial growing year. This agrotechnical combination supports the formation of a robust assimilation apparatus, active accumulation of aboveground mass, and a well-developed root system – factors that are critical for ensuring high productivity and quality of medicinal raw materials. The results have practical significance and can contribute to the optimization of sage cultivation technologies in the Forest-Steppe region of Ukraine. Moreover, they may be useful for integrating precision agriculture practices in the production of essential oil-bearing crops.

Key words: competition between plants, biometric parameters, agrotechnical factors, yield, essential oil crop, agricultural practices.

Kupriyanova T., Makarchuk N., Myronchuk V. Optimization of nutrient medium composition for growing potatoes *in vitro*. Agroecological journal. 2025. No. 3. P. 146–152.

Institute of Potato Research of NAAS

e-mail: kyptm@meta.ua

The aim of the study was to investigate the morphometric parameters of potato plants *in vitro* using reduced concentrations of agar-agar in the Murashige-Skoog nutrient medium modified by the Potato Research Institute of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. The study was conducted at the Department of Biotechnology and Biotechnical Systems of the Potato Research Institute of the National Academy of Agrarian Sciences. The objects of the study were meristem plants of such potato varieties selected by the Potato Research Institute of the National Academy of Agrarian Sciences as Skarbnytsia, Fotiniya, Misteriya, Myroslava, Knyaginya, Zhitnytsia, Solokha, and Rodynna. The results of the studies showed that it is possible to grow potato plants *in vitro* at an agar concentration in the nutri-

ent medium reduced to 4.5 g/l. In this experiment, no significant differences were found with the control variant in terms of both height and number of leaves formed. Dispersion analysis of the results revealed significant differences in plant height between different genotypes and between different agar concentrations in the nutrient medium. The agar concentration had the greatest effect on the variability of the height of potato meristem plants. The Mystery, Knyaginya, and Rodinna varieties showed a specific reaction to changes in agar-agar concentration. Thus, the height of Mystery plants was significantly higher at an agar-agar concentration of 4.5 g/l, while Knyaginya plants were significantly higher in the control variant, and Rodinna plants did not differ significantly in this parameter in all variants of the experiment. The research showed that the genotype had the biggest impact on how many leaves a plant had (73.5%), while the nutrient medium only had a 7.8% impact and the interaction of factors had an 18.7% impact. Thus, the Skarbnytsia variety was characterized by the highest number of leaves per plant in all studied variants. Accordingly, the indicator was 6.29 pieces per plant in the variant with an agar-agar concentration of 3 g/l, 6.77 pieces per plant in the variant with an agar-agar concentration of 4.5 g/l, and 6.65 pieces per plant in the variant with an agar-agar concentration of 7 g/l. It should be noted that the lowest number of leaves per plant among the studied varieties was characterized by the Rodynna variety with an average indicator for the experimental variants of 4.30 pieces per plant. In the rest of the studied varieties, this indicator ranged from 4.98 to 5.89 pieces per plant. The average number of leaves per potato plant in the experimental variant with an agar-agar concentration of 4.5 g/l and in the control variant (7 g/l) significantly exceeded the average number of leaves in the variant with a concentration of 3 g/l. No significant differences were found between the variants with agar-agar concentrations of 4.5 and 7.0 g in terms of this indicator, as well as in terms of plant height. The average number of leaves was 5.52, respectively. The morphometric parameters of potato meristem plants are also influenced by the genetic characteristics of the variety, so the use of a nutrient medium with a reduced concentration of agar-agar is recommended after studying the reaction of each specific variety to changes in this factor. The results obtained indicate the promise of further research in this area. A detailed study of the mechanisms of the influence of different concentrations of agar-agar on the morphometric indicators of potato meristem plants and an increase in their reproduction coefficient will be of great theoretical and practical importance in the potato seed production process.

Key words: meristematic plants, microclonal propagation, minibulbs, seed production, composition of the nutrient medium.

Ovcharuk V., Ovcharuk O., Ievstafieva I., Babii M.
Yield and quality of fodder beet roots depending

on the variety in the conditions of the right-bank forest-step of Ukraine. *Agroecological journal*. 2025. No. 3. P. 153–158.

*Higher education institution
«Podilskyi State University»*

e-mail: ovcharuk.oleh@gmail.com

For widespread use of fodder beet roots in animal feeding and the effective use of the biological potential and natural and climatic conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine theoretical and scientific substantiation of agrotechnical elements of crop cultivation technology such as selection of varieties and hybrids based on yield and quality, establishment of optimal sowing dates, plant density in sowing and their storage is of great importance. This combination of elements of fodder beet growing technology in modern farming conditions requires obtaining high yields and product quality and economic efficiency. The yield of fodder beet root crops is determined by the content of protein and nitrogen-free compounds, minerals, vitamins and dry matter, which is 12–14.9%, digestible protein — 0.9–1.3%, as well as the ability of animals to assimilate the product at the level of 72–78%. Root vegetables contain about 75–85% water, which is represented by a kind of physiological solution of amino acids, sugars, salts, organic acids, vitamins and enzymes, 0.1% fat, 0.9% fiber, 0.9% ash. The qualitative composition of root vegetables depends not only on the variety, but also on soil and climatic conditions and elements of modern growing technology. For the conveyor feed intake, green mass also plays an important role, as it contains a lot of carotene, up to 14% of dry matter, 3.10% of protein, 0.3% of fat, 1.6% fiber, and 2.8% of ash. The yield and quality of fodder root crops depends on the introduction of highly productive newly developed varieties, hybrids, and modern growing technology. Varieties and hybrids of fodder beets, due to their high yield and product quality, resistance to pests and diseases, are the main technological requirements that will allow the implementation of the entire complex of economic and biological properties and natural and climatic conditions. Modern crop cultivation technologies are impossible without the use of highly productive seeds with high seed quality indicators. Also, the components of the technology include improved basic and pre-sowing soil cultivation, a scientifically based system of protection against diseases and pests, sowing at final density, mechanized harvesting, and the use of progressive harvesting and storage measures. The basic and zonal variants of intensive fodder beet production technology are fully provided by modern varieties and hybrids of domestic and foreign selection. With proper implementation of all elements of the technology, they ultimately have fairly high crop productivity indicators. Experimental work was carried out during 2022–2024 in accordance with the «Methodology of State Variety Testing of Agricultural Crops», «Methodology of Conducting Research

on Feed Production» and «Methods of Analysis in Agronomy and Agroecology» according to the research plan of the Department of Horticulture and Viticulture Higher education institution «Podillia State University» in the conditions of the experimental field of the «VITAGRO Group of Companies», which is located in the village of Krykiv, Kamianets-Podilskyi, Khmelnytskyi region. Based on the conducted experimental studies, we found out that the yield of the studied varieties of fodder beet on average over the years was different and ranged within 72.4–102.4 t/ha. The yield indicators of fodder beet root crops are characterized by high yields. On average, over three years of research, the following varieties stand out: Record Poly Bis – 109.3 t/ha, Adra – 95.6 t/ha, Jamon – 87.2 t/ha, and Agro-Poli – 86.6 t/ha. The average yield of root crops was obtained from the varieties Marisha – 83.4 t/ha and Starmon – 83.6 t/ha, with lower yields being obtained from the varieties Slavia – 72.6 t/ha and Olzhych – 72.4 t/ha. It was found that the root crops differed in shape; in the Adra variety, they had a cylindrical shape, with an average weight of 4.2 kg, with a depth of up to 30% in the soil and a white-yellow color. The varieties Record Poly Bis and Olzhych – cylindrical in shape and 40% buried in the soil, with the color of the root crop in the first case pink, in the second – yellow, with an average fruit weight of 5.0 and 6.0 kg, respectively. The root crops of the Agro-Poli variety were round in shape with a depth of 70% in the soil, with an average weight of 6.3 kg, and red in color. The varieties Marisha, Slaviya, and Starmon formed an elongated-conical shape with a root crop weight of 4.4, 8.2 and 5.8 kg with a depth of up to 60% in the soil, respectively. The varieties Marisha and Starmon had a yellow root surface, Slavia had a yellow-brown color. The variety Jamon has a cylindrical shape with an average weight of 6.0 kg, a yellow root surface with a depth of up to 40% in the soil. An important indicator in fodder beet root crops is the dry matter content, which consists of carbon (45.0%), oxygen (42.0%), hydrogen (6.5%), nitrogen (1.5–5.0%), and ash (9.5–12.0%), which mostly depends on the biological characteristics of the variety. The varieties with the highest content of this indicator are Olzhych – 15.2% and Zhamon – 15.1%; with average indicators of the varieties: Marisha – 14.7%, Slavia – 14.5% and Agro Poli – 14.0%, with reduced indicators of dry matter are noted in the varieties Starmon – 12.8% and Adra – 12.0%. The defining indicator of the value of fodder beet root crops is the content of total sugar, which is used to accumulate energy and fat, and to normalize microbiological processes in the animal body. With its participation, animal carbohydrates, glycogen and lactose are synthesized in the body. The highest total sugar content in root vegetables was observed in the Jamon variety – 18.6%, Starmon – 17.6% and Agro Poly variety – 17.3%. Lower values were observed in the Record Poly Bis variety – 13.8% and Olzhych – 13.5%.

Key words: agrocenosis, root crop shape, average weight, cultivation technology, soil penetration, color, plant density.

Konishchuk V.¹, Martynenko V.¹, Dushko P.¹, Ternovyi Yu.², Kravchuk Yu.² Phytoecological characteristics of field protective plantings of the central forest-step of Ukraine. Agroecological journal. 2025. No. 3. P. 159–169.

¹*Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

²*Skvyra Research Station of Organic Production, IAP NAAS*

e-mail: martinenko.vasil@ukr.net

A comprehensive analysis of shelterbelts located within the territory of the State Enterprise «Research Farm 'Skvyrske' of the Institute of Agroecology and Environmental Management of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine» has been carried out. The aim of the work is to clarify the floristic composition, symphytosozological and ecological characteristics of shelterbelts, as well as to establish the degree of participation in the conservation of biodiversity. The species composition includes 237 species of higher vascular plants, distributed among 162 genera and belonging to 55 families. The syntaxonomic structure of the shelterbelts of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine is represented by plant communities of the class *Robimietea*, with a dominance of the order *Chelidonio-Robimietalia*. Several alliances and associations have been identified, involving *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Pinus sylvestris*, *Quercus robur*, *Ulmus* spp., *Fraxinus* spp., *Tilia cordata*, and others. For the first time, new associations and subassociations have been proposed for typical phytocenoses that form under anthropogenically transformed agro-landscape conditions, taking into account both alien and native species. The width of the forest belts is from 5 to 25 meters. In terms of vertical stratification, two-layered stands prevail (particularly with the participation of *Populus alba* and *Robinia pseudoacacia*), although single-layered shelterbelts also occur. The ecological and floristic diversity of vascular plants is relatively low; however, these belts perform crucial functions as biological corridors, buffer zones, and habitats for pollinators, entomophages, and small mammals. The presence of shrub species such as *Crataegus monogyna*, *Sambucus nigra*, and *Ligustrum vulgare* ensures ecological stability and enhances the biotic attractiveness of shelterbelts for fauna. The findings obtained can be applied to improve design solutions for the establishment of new shelterbelts, the restoration of degraded areas, and the implementation of eco-network principles within agro-landscapes. Moreover, this research is of practical significance for shaping national agricultural adaptation programs to climate change, since it highlights the importance of shelterbelts as nature-based solutions that increase ecosystem resilience and sustainability in agricultural territories.

K e y w o r d s: ecological assessment of vegetation, biodiversity, structure of plant cover, species composition of stands, types of indicators.

Palamarchuk R.¹, Hryshchenko O.¹, Hulvanskyi I.², Breheda S.³, Tsyhanov I.⁴ Evaluation of supplying Ukrainian soils with mobile zinc forms. *Agroecological journal*. 2025. No. 3. P. 170–177.

¹ *State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine»*

² *Prydniprovsky Interregional Center of State Institutions «Soils Protection Institute of Ukraine»*

³ *Northeastern Interregional Center of the State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine»*

⁴ *Zaporizhzhia Regional Center of the State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine»*

e-mail: grischenkoel@ukr.net

The results of the XI round of agrochemical survey of agricultural lands for the content of mobile zinc compounds, conducted by the State Institution «Institute of Soil Protection of Ukraine», are presented. Their analysis and comparison with the data of the IX and X rounds were carried out. This will allow determining the dynamics of providing soils with mobile zinc compounds and developing measures to improve the ecological and agrochemical condition of soils. The trend of decreasing the weighted average content of mobile zinc compounds in Ukraine, as a whole (0.64 mg/kg) is 20% compared to the previous round of research. According to agro-climatic zones, the decrease is in the Forest-Steppe (0.61 mg/kg) — by 29.1%, in the Steppe (0.57 mg/kg) — by 16.2%,

in the Carpathian region and the Polissia zone (0.78 mg/kg) — by 18.8%. Only in the soils of Zakarpattia and Lviv regions does the weighted average content of mobile zinc forms correspond to the average and low levels of provision. Analysis of research results by administrative units of Ukraine showed the absence of agricultural lands with a very high content of mobile zinc compounds in 10 regions, with high — in 11, with elevated and medium — in 4 regions. The highest level of zinc supply is demonstrated by soils of the Transcarpathian region, where the weighted average indicator is 2.00 mg/kg, the lowest — in the Kirovohrad region — 0.28 mg/kg. The trend of decreasing the content of mobile forms of zinc in the soils of Ukraine from north to south persists — from soils with low organic matter content, low cation exchange capacity and pH values <5.5 to soils with a close to neutral and alkaline reaction of the soil solution, high organic matter content and absorption capacity. During the last three rounds of agrochemical survey, only groups of soils with very low and low levels of zinc supply have shown stable growth — from 85.1% in 2006–2010 to 96.0% in 2016–2020, or by 10.9%. Areas with other concentrations of mobile compounds in the soil have significantly decreased: with an average content — almost 5 times (from 9.5% to 2.0%), with an increased content — three times (from 3.9% to 1.3%), with a high content — twice (from 1.2 to 0.6%). The results presented in the article were obtained before the start of large-scale hostilities, and therefore cannot provide an objective picture of zinc content in the areas of hostilities. Therefore, there is an urgent need for a wide ecological and agrochemical survey of lands affected by military actions.

K e y w o r d s: agroclimatic zone, agrochemical survey, deficiency, monitoring, mobile forms, zinc.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

БАБІЙ Максим Володимирович, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна (e-mail: agroslava2017@gmail.com)

БАШТА Олена Валентинівна, кандидат біологічних наук, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна (e-mail: elenabashhta@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4682-1595>)

БЕЗНОСКО Ірина Володимирівна, доктор біологічних наук, старший дослідник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: beznoskoirina@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2217-5165>)

БРЕГЕДА Сергій Григорович, Північно-східний міжрегіональний центр державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», с. Степне, Полтавський р-н, Полтавська обл., Україна (e-mail: poltavaptc@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5904-6547>)

ВИСОЧАНСЬКА Марія Ярославівна, доктор економічних наук, старший дослідник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: mariya_vysochanska@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2116-9991>)

ГАВРИЛЮК Лілія В'ячеславівна, доктор філософії, старший дослідник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: gavriluklilia410@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6901-0766>)

ГЕНТОШ Дмитро Тарасович, кандидат сільськогосподарських наук, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна (e-mail: dgentosh@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8647-7843>)

ГОРОДИСЬКА Інна Миколаївна, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: anni0479@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1580-3450>)

ГРИЩЕНКО Олена Миколаївна, кандидат сільськогосподарських наук, Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, Україна (e-mail: grischenkoel@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1241-7183>)

ГРУШИНА Ольга Григорівна, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна (e-mail: olga.grushyna86@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1209-592X>)

ГУЛЬВАНСЬКИЙ Ігор Миколайович, Придніпровський міжрегіональний центр державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», с. Созонівка, Кропивницький р-н, Кіровоградська обл., Україна (e-mail: oblderzhrojdychist@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5941-2760>)

ГУНЧАК Михайло Володимирович, кандидат сільськогосподарських наук, Чернівецький регіональний центр державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», м. Чернівці, Україна (e-mail: chernivtsy_grunt@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3521-8531>)

ГУРІН Олександр Григорович, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: hurin.oleksandr@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3601-5287>)

ДРЕБОТ Оксана Іванівна, доктор економічних наук, професор, академік НААН, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: drebotoksana@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2681-1074>)

ДУШКО Павло Миколайович, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: Dushko@i.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1408-0342>)

ЄВСТАФІЄВА Юлія Миколаївна, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна (e-mail: pp.nika22@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5914-893X>)

ІЛЬЄНКО Тетяна Володимирівна, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: tilienko@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5406-5449>)

КАРАЧИНСЬКА Надія Василівна, кандидат біологічних наук, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: karachinskan051177@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6571-8430>)

КЛЮЧКА Світлана Іванівна, кандидат педагогічних наук, доцент, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна (e-mail: svitkl@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5702-6840>)

КОЛОДЯЖНИЙ Олександр Юрійович, кандидат сільськогосподарських наук, науковий співробітник, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: alodua2@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5359-1738>)

КОЛОМІЄЦЬ Юлія Василівна, доктор сільськогосподарських наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна (e-mail: julyja12345@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1919-6336>)

КОНІЩУК Василь Васильович, доктор біологічних наук, професор, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: konishchuk_vasyl@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4115-5642>)

КОРОЛЬ Олексій Валентинович, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: 9485805@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4683-0101>)

КРАВЧУК Юрій Алікович, Скви́рська дослідна станція органічного виробництва Інституту агроекології і природокористування НААН, м. Скви́ра, Київська обл., Україна (e-mail: doslidna_skvira@meta.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6878-7700>)

КУПРІЯНОВА Тетяна Миколаївна, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут картоплярства НААН, с-ще Немішаєве, Бучанський р-н, Київська обл., Україна (e-mail: kyptm@meta.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1039-9348>)

ЛЕВАНДОВСЬКА Світлана Миколаївна, кандидат біологічних наук, доцент, Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Київська обл., Україна (e-mail: svtmzel@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8485-6134>)

ЛІЩУК Алла Миколаївна, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: lishchuk.alla.n@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8339-9365>)

МАКАРЧУК Наталя Володимирівна, Інститут картоплярства НААН, с-ще Немішаєве, Бучанський р-н, Київська обл., Україна (e-mail:

kyptm@meta.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6852-0959>)

МАМЕНКО Павло Миколайович, кандидат біологічних наук, старший дослідник, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: p_mamenko@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9945-8462>)

МАРТИНЕНКО Василь Валентинович, доктор філософії, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: martinenko.vasil@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2526-6732>)

МЕДКОВ Артем Ігорович, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: a.medkow@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9305-8767>)

МИРОНЧУК Валентина Михайлівна, Інститут картоплярства НААН, с-ще Немішаєве, Бучанський р-н, Київська обл., Україна (e-mail: kyptm@meta.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9541-6665>)

МИРОПОЛЬСЬКИЙ Іван Леонідович, Національний природний парк «Пу́ща Радзиви́ла», с. Березове, Сарненський р-н, Рівненська обл., Україна (e-mail: parkradz2022@ukr.net)

МОРОЗОВА Тетяна Василівна, кандидат біологічних наук, доцент, Державна наукова установа «Інститут екологічного відновлення та розвитку України», 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: mudrakgalyna@vsau.vin.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1319-9189>)

МУДРАК Олександр Васильович, доктор сільськогосподарських наук, професор, КВНЗ «Вінницька академія безперервної освіти», м. Вінниця, Україна (e-mail: ov_mudrak@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1776-6120>)

НАКОНЕЧНИЙ Ігор Володимирович, доктор біологічних наук, професор, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна (e-mail: nakonechniigor777@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3797-3725>)

ОВЧАРУК Василь Іванович, доктор сільськогосподарських наук, професор, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна (e-mail: plspg@pdatu.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2115-0916>)

Овчарук Олег Васильович, доктор сільськогосподарських наук, доцент, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна (e-mail: ovcharuk.oleh@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1117-962X>)

ПАЛАМАРЧУК Роман Павлович, Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, Україна (e-mail: prp777@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5965-1305>)

ПАРФЕНЮК Алла Іванівна, доктор біологічних наук, професор, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: vereskar@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0169-4262>)

ПАСІЧНЯК Василь Іванович, Південно-Західний міжрегіональний центр державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», с. Агрономічне, Вінницький р-н, Вінницька обл., Україна (e-mail: vinrodurchist@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4144-261X>)

ПІДЛІСНЮК Валентина Вікторівна, професор, Університет Яна Євангеліста Пуркіне, Усті-над-Лабем, Чеська Республіка (e-mail: pidlisnyuk@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1489-897X>)

РИК Тетяна Миколаївна, доктор філософії, КЗВО ЛОР «Львівська медична академія імені Андрея Крупинського», м. Львів, Україна (e-mail: tanyaryk.lma@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4860-9109>)

СЕРГІЙЧУК Наталія Миколаївна, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна (e-mail: nataliiaserhiichuk@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6690-0114>)

СТАРОДУБ Вікторія Іванівна, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: myrzavica88@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3883-9453>)

СТЕФАНОВСЬКА Тетяна Робертівна, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна (e-mail: tstefanovska@nubip.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7522-5197>)

ТЕРНОВИЙ Юрій Вікторович, кандидат сільськогосподарських наук, Сквирська дослідна станція органічного виробництва Інституту агроекології і природокористування НААН, м. Сквиря, Київська обл., Україна (e-mail: ternowoj@i.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5829-5089>)

ТИМОШЕНКО Олег Михайлович, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: ttlife25082017@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5061-9474>)

ТКАЧ Євгенія Дмитрівна, доктор біологічних наук, старший дослідник, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: bio_eco@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0666-1956>)

ЦИГАНОВ Ігор Володимирович, Запорізький регіональний центр державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», м. Запоріжжя, Україна (e-mail: zpgrunt@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3478-9968>)

ШЕРСТЮК Денис Михайлович, Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: volaf666@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1687-5974>)

ЯНСЕ Лілія Амінівна, доктор біологічних наук, член-кореспондент НААН, Національна академія аграрних наук; Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: liliya.janse@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2567-5907>)

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

Редакція «Агроєкологічного журналу» приймає до розгляду оригінальні статті, підготовлені на високому науковому рівні, що мають важливе теоретичне, практичне значення та висвітлення результатів наукових досліджень вітчизняних та зарубіжних авторів. У журналі публікуються закінчені експериментальні і дослідні роботи, а також оглядові статті, які раніше не були надруковані за наступними напрямками: актуальні проблеми екології, аграрні науки і продовольство, біологічні науки, економічні науки, лісове господарство, технологія виробництва та переробки продукції тваринництва.

Кожна стаття обов'язково проходить перевірку на плагіат та анонімне рецензування провідними фахівцями з відповідного наукового напрямку. За висновком рецензента стаття може бути рекомендована до друку чи відхилена або повернена для доопрацювання.

Подані статті мають бути структуровані відповідно до вимог ВАК України щодо наукових статей (Постанова Президії ВАК України від 15.01.2003 р. № 7-05/1), зокрема:

- постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
- аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання визначеної проблеми, і на які спирається автор;
- виділення невірнених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття;
- викладення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
- висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

Статті подають українською або англійською мовами. До статті додають анотації українською та англійською мовами обсягом 200–250 слів (1800–2000 знаків), ключові слова (5–10), що не дублюють назву, а також відомості про авторів (прізвища, ініціали, місце їх роботи/навчання).

Публікації англійською мовою приймаються тільки за умови їх професійного перекладу. За подачі англійського варіанту, перекладеного з допомогою інтернет-перекладачів (напр., Google), матеріали будуть відхилені.

До розгляду приймаються наукові статті обсягом від 10 до 20 сторінок, включаючи всі матеріали (анотації, таблиці, рисунки та бібліографічні списки).

У тексті статті мають бути виділені розділи «ВСТУП», «АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ», «МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ», «РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ», «ВИСНОВКИ», «ЛІТЕРАТУРА».

Розділ «Аналіз останніх досліджень і публікацій», повинен розкрити стан досліджень проблеми у вітчизняній і світовій науковій літературі за останні 5 років.

В описі методики досліджень наводиться детальне викладення методів і методик з посиланням на першоджерело (схеми дослідів, повторність, методи лабораторного аналізу, методи статистичної обробки). Якщо в тексті є аббревіатура, подавати її в дужках при першому

згадуванні. Автори мають дотримуватися правильної галузевої термінології (див. ДСТУ, COY), терміни мають бути уніфікованими.

Викладення результатів досліджень має заключатися 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 25 джерел) мовою оригіналу оформлюється відповідно до APA (American Psychological Association) стилю. 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.

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: Times New Roman — 14 пт; міжрядковий інтервал — 1,5; абзац — 1,25 см.

Типографські погодження та стилі. По центру у першому рядку сторінки вирівнюється тематична рубрика, до якої автор подав свою публікацію. Надалі індекс УДК набирається і вирівнюється за лівим краєм. Заголовок статті набирається в наступному за УДК рядку і вирівнюється посередині. Потім вказують: прізвища, ініціали авторів (ліміт — п'ять осіб), нижче — місце роботи/навчання, адреса електронної пошти, код ORCID автора (курсивом). Якщо автори з різних установ, після прізвища авторів та назв установ, у яких працюють/навчаються автори, слід проставити один і той самий верхній цифровий індекс. Далі розташовують анотацію та ключові слова мовою оригіналу статті (курсив); текст статті; відомості про авторів.

Таблиці мають бути виконані в Microsoft Office Word; формули — у редакторі формул MS Equation; графіки — у Microsoft Office Excel, фотографії — у форматі jpg, tif або надавати оригінали. Також всі рисунки (графіки) додатково надсилаються на окремому аркуші — у Microsoft Office Excel.

Відповідальність за зміст статті несе автор. Рукописів редакція не повертає.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

**Інститут агроєкології
і природокористування НААН**

вул. Метрологічна, 12, Київ-143, 03143.

Довідки за тел. (044) 522-60-62;

e-mail: agroecojournal@ukr.net