

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

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ



1 • 2025

Виходить чотири рази на рік

ЗАСНОВНИКИ

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

Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України»

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

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

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

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

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

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

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

**Журнал друкується і поширюється через мережу Інтернет
за рішенням вченої ради Інституту агроекології і природокористування НААН
(протокол № 2 від 24 лютого 2025 р.)**

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

Підписано до друку 21.03.2025 р. Формат 70×100/16. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 14,7. Наклад 250 прим. Зам. № АЕ-01–25.
Оригінал-макет та друк ТОВ «ДІА». 03022, Київ-22, вул. Васильківська, 45

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

1 • 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,
Senior Researcher (Ukraine)*

TKACH Ye.,

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

FURDYCHKO O.,

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

CHOBOTKO G.,

Doctor of Biological Sciences, Prof. (Ukraine)

SHERSTOBOEVA O.,

Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)

SHERSHUN M.,

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

YUKHNOVSKIY 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)

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, старш. наук. співроб. (Київ)

ТКАЧ Є.Д.,

д-р біол. наук, ст. досл. (Київ)

ФУРДИЧКО О.І.,

д-р екон. і с.-г. наук, проф.,

акад. НААН (Київ)

ЧОБОТЬКО Г.М.,

д-р біол. наук, проф. (Київ)

ШЕРСТОБОЄВА О.В.,

д-р с.-г. наук, проф. (Київ)

ШЕРШУН М.Х.,

д-р екон. наук, доцент (Київ)

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., Мельник П.П.,
Добряк Д.С., Зіновчук Н.В.,
Палапа Н.В.**

Еколого-економічні механізми управління в агроєкосистемах із врахуванням космічних чинників

**Коніщук В.В., Хом'як І.В.,
Шумигай І.В.**

Антропогенна трансформація фітоценозів мезотрофних боліт Українського Полісся

**Райчук Л.А., Швиденко І.К.,
Чоботко Г.М.**

Відновлення лісових екосистем як основа збалансованого розвитку агроландшафтів Українського Полісся

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

Види рослин ботанічних садів України за матеріалами історичних колекцій гербарію Одеського національного університету імені І.І. Мечникова (MSUD)

Мартиненко В.В.

Екологічна оцінка, вкритих лісовою рослинністю земель, природного заповідника «Древлянський»

Мороз В.В., Тимошенко Л.М.

Біологічна продуктивність та енергетичний потенціал соснових деревостанів Полісся

Бондар О.Б.

Аналіз функціональних категорій лісів заходу України

Чипиляк Т.Ф., Лінкевич О.О.

Мінливість анатомічної будови пагонів видів родів *Sedum* L. та *Hylotelephium* H. Ohba за різного рівня освітлення

**Юхновський В.Ю., Хрик В.М.,
Малога В.М., Тупчий О.М.,
Левандовська С.М., Ситник О.С.**

Агрохімічні властивості ґрунтів у системах пользахисних лісових смуг і насаджень орно-польового агролісівництва

Чорнобров О.Ю.

Запаси вуглецю у відмерлій деревині лісових насаджень Середнього Придніпров'я (Лісостеп України)

**6 Drebot O., Melnyk P.,
Dobryak D., Zinovchuk N.,
Palapa N.**

Ecological and economic management mechanisms in the branches of agroecosystems taking into account space factors

**16 Konishchuk V., Khomiak I.,
Shumyhai I.**

Anthropogenic transformation of phytocenoses of mesotrophic swamps of Ukrainian Polissia

**24 Raichuk L. Shvydenko I.,
Chobotko G.**

Restoration of forest ecosystems as the basis for the sustainable development of agrolandscapes in Ukrainian Polissia

**32 Bondarenko O., Nazarchuk Yu.,
Fairushin E.**

Species of plants of botanical gardens of Ukraine according to the materials of the historical collections of the herbarium of Odesa Mechnykov National University (MSUD)

43 Martynenko V.

Ecological assessment of the forest lands covered with forest vegetation in Drevlyansky Nature Reserve

48 Moroz V., Tymoshenko L.

Biological productivity and energy potential of pine stands in Polissia

56 Bondar O.

Analysis of functional categories of forests in western Ukraine

77 Chypyliak T., Linkevych O.

Variability of the anatomical structure of shoots of species of *Genera sedum* L. and *Hylotelephium* H. Ohba genera under different light levels

**85 Yukhnovskiy V., Khryk V.,
Maliuha V., Tupchii O.,
Levandovska S., Sytnyk O.**

Agrochemical properties of soils in systems of windbreaks and plantings of silvoarable agroforestry

97 Chornobrov O.

Carbon stocks in dead wood of forest stands of the Middle Dnipro (Dnieper) region (Forest-steppe of Ukraine)

**Пінчук В.О., Подоба Ю.В.,
Тертична О.В.**

Екологічна оцінка утворення і поводження зі стоками у тваринництві

Мудрак О.В., Морозова Т.В.

Аналіз економічної та екологічної доцільності встановлення біогазової установки з перероблення гною у фермерському господарстві

**Кобилецька М.С., Дем'янюк О.С.,
Корчинська О.С.**

Активовані саліцилатом зміни показників посухостійкості рослин пшениці (*Triticum aestivum* L.)

**Бунас А.А., Шерстобоева О.В.,
Крижанівський А.Б.**

Екологічні аспекти застосування *Bacillus thuringiensis* для захисту яблунь від фітофагів

Дворецький В.В.

Вплив органо-мінерального добрива Diamond grow марки HUMI [K] BIO + «PLUS» на врожайність та якість зерна пшениці ярої (*Triticum aestivum* L.)

Сасіна Т.С.

Вплив біологічно модифікованих мінеральних добрив на врожайність картоплі (*Solanum tuberosum*) та якість бульб

**Матусевич Г.Д., Мазур С.О.,
Горган Т.М., Безноско І.В.**

Ефективність фунгіцидного контролю фітопатогенних мікроміцетів на насінні соняшника (*Helianthus annuus* L.)

**Болоховська В.А., Нагорна О.В.,
Волощук Н.М., Болоховський В.В.,
Стерлікова О.М., Хоменко Т.О.,
Бородай В.В.**

Ефективність застосування комплексного препарату склеротид та його мікробних складових проти збудника білої гнилі *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary

Щетина С.В.

Господарсько-біологічна оцінка різних гібридів баклажана за вирощування у відкритому ґрунті

105 **Pinchuk V., Podoba Yu.,
Tertychna O.**

Environmental assessment of the formation and management of effluents in livestock

117 **Mudrak O., Morozova T.**

Analysis of the economic and environmental feasibility of installing a biogas plant for manure processing on a farm

130 **Kobyletska M., Demyanyuk O.,
Korchynska O.**

Salicylate-activated changes in the drought resistance indicators of wheat plants (*Triticum aestivum* L.)

138 **Bunas A., Sherstoboeva O.,
Kryzhanivskiy A.**

Environmental aspects of *Bacillus thuringiensis* use for protection of apple trees against phytophages

146 **Dvoretskyi V.**

Influence of organomineral fertilizer Diamond Grow of HUMI [K] BIO + «PLUS» brand on yield and quality of spring wheat (*Triticum aestivum* L.)

152 **Sasina T.**

Effect of biologically modified mineral fertilizers on potato yield (*Solanum tuberosum*) and tuber quality

159 **Matusievych H., Mazur S.,
Horgan T., Beznosko I.**

Efficacy of fungicidal control of phytopathogenic micromycetes on sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds

169 **Bolokhovska V., Nagorna O.,
Voloshchuk N., Bolokhovskiy V.,
Sterlikova O., Khomenko T.,
Borodai V.**

Efficiency of the application of the complex formula Sclerotcyd and its microbial components against the causative agent of white rot *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary

182 **Shchetyna S.**

Economic and biological evaluation of various eggplant hybrids for cultivation in open soil

Реферати 189 **Abstract**

Відомості про авторів 199 **Information about the authors**

Правила для авторів 202 **Rules for the authors**

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ МЕХАНІЗМИ УПРАВЛІННЯ В АГРОЕКОСИСТЕМАХ ІЗ ВРАХУВАННЯМ КОСМІЧНИХ ЧИННИКІВ

О.І. Дребот, П.П. Мельник, Д.С. Добряк,
Н.В. Зіновчук, Н.В. Палапа

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

e-mail: drebota_oksana@ukr.net; ORCID: 0000-0003-2681-1074

e-mail: melnikpp@ukr.net; ORCID: 0000-0002-6083-677X

e-mail: dobryakds@gmail.com; ORCID: 0009-0005-7745-6932

e-mail: nvzstill37@gmail.com; ORCID: 0000-0002-3221-8173

e-mail: palapa60@ukr.net; ORCID: 0000-0003-3748-6414

Розглянуто важливу роль розроблених нових і використання діючих еколого-економічних механізмів управління в галузях агроєкології, що допомагають раціональному використанню і відтворенню природних ресурсів. Проведено аналіз чинних механізмів, які становлять основу гармонійного поєднання принципів для природокористування в агроєкологічних системах. Обґрунтовано особливості дії космічного механізму, який є сукупністю принципів еколого-економічних механізмів управління використанням та охороною земель. Акцентовано увагу на моніторингу як складу економічного механізму, що всебічно аналізує на макро- і мікрорівні регіонів виробничу сферу за найвагомішими показниками еколого-економічного спрямування. Мета — дослідити вплив еколого-економічних механізмів на систему управління в сільськогосподарському виробництві. В публікації встановлено, що компоненти системи еколого-економічного управління в галузевих структурах агроєкології існують у взаємозв'язку. Водночас космічний механізм у просторово-часовому вимірі в організації управління виробничо-господарською діяльністю вимагає від суб'єкта господарювання різної форми власності високої гнучкості, масштабності, швидкої і частішої зміни складових компонентів управління у підвищенні ефективності виробництва сільськогосподарських культур. Це дасть змогу провести необхідні зміни в системі управління, до того ж, не поступові, а кардинальні з урахуванням подальшого вдосконалення системи управління на основі компонентів космічного механізму, які посилять еколого-економічну ефективність сільськогосподарських підприємств. Однак, слід відмітити, що найважливішими складовими космічного механізму є фази циклів сонячної активності. Отже, для забезпечення ефективного ведення сільськогосподарського виробництва структура системи еколого-економічного управління має бути доповнена космічним механізмом, який сприяє вирішенню еколого-економічних і соціальних проблем у суспільному виробництві.

Ключові слова: використання, гармонізація, принципи, проблеми, компоненти, природокористування.

ВСТУП

Зростаюча інтенсивність експлуатації природних ресурсів, відсутність коштів у значній частині суб'єктів господарювання не допомагають вживанню заходів щодо зменшення впливу на навколишнє природне середовище (далі — НПС) й усклад-

нюють формування концептуальних основ збалансованого розвитку. Це потребує розроблення оптимальної еколого-економічної стратегії подальшого розвитку складових системи управління природокористуванням у галузях агроєкології.

Незважаючи на посилену увагу до забезпечення ефективності використання природних ресурсів у суспільному вироб-

ництві, їхній стан залишається незадовільним. Така ситуація спонукала систему еколого-економічного управління враховувати специфічні особливості, коли механізм гармонізації екологічної компоненти поєднується зі стратегією соціально-економічного розвитку агроecosистем для досягнення сталого розвитку та збереження цілісності еколого-економічних і соціальних компонентів у суспільному виробництві [1].

Важливу роль у розв'язанні цієї проблеми відіграють розроблення нових і використання діючих еколого-економічних механізмів управління в галузях агроecosистем, що сприяють раціональному використанню і відтворенню природних ресурсів, охороні НПС та гарантуванню виробництва екологічно безпечної продукції.

Стратегічною метою механізму управління в галузях агроecosистем є досягнення розвитку на основі формування та постійного відтворення економічних передумов природокористування і забезпечення ресурсозбереження суб'єктами господарювання всіх рівнів системи завдяки доведенню їх до такого стану, який допомагатиме найвигіднішому вкладенню коштів, порівняно з альтернативними варіантами [2].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Система механізмів у природокористуванні агроecosистем характеризується складністю і масштабністю розв'язання проблем. Вони мають велике значення під час збалансованості еколого-економічних і соціальних компонентів у сільськогосподарському виробництві. А тому дослідженню питань еколого-економічного механізму у сфері сільськогосподарського виробництва присвятили багато праць відомі вчені: П.П. Мельник [1], М.А. Хвесик [2], Д.С. Добряк [3], О.І. Дребот [4], Н.В. Зіновчук [5], Є.В. Мішенін [6] та ін. У цих роботах приділено увагу конкретним аспектам досліджень у різних сферах виробництва, але вони не охоплюють значної частини комплексу сучасних проблем.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На особливу увагу заслуговує визначення еколого-економічного механізму управління природокористуванням, який зумовлює багаторівневу систему взаємозв'язків екологічних та економічних явищ у процесі використання і реалізації ресурсоощадних заходів суб'єктами господарювання різних форм власності, забезпечуючи при цьому їхній сталий екологічно збалансований розвиток на самовідтворюваній основі, що є стратегічним напрямом його розвитку [7].

Окреслення мети еколого-економічного механізму системи управління у природокористуванні агроecosистем дає змогу сформулювати важливі завдання багаторівневої економічної системи. Це стосується зокрема вдосконалення системи управління у межах організаційно-правового поля; акцентування уваги механізму функціонування і розвитку економіки вирощування сільськогосподарських культур; вирішення складних соціально-економічних проблем; визначення динамічного стану НПС. З методичного погляду, еколого-економічний механізм сприяє реалізації стратегічних напрямів господарювання, спрямованих на збереження та ефективного застосування природно-ресурсного потенціалу як на рівні окремого суб'єкта господарювання, так і на рівні регіонального утворення. Отже, здійснюється ефективне природокористування, що запобігає виникненню негативних процесів та своєчасному розв'язанню екологічних проблем в агроecosистемах.

Одним із важливих завдань у майбутньому основних форм еколого-економічних механізмів у процесі використання та охорони природних ресурсів, особливо земель сільськогосподарського призначення, є збереження стійкості ґрунтів, що забезпечується механізмами як під час впливу екзогенних чинників, так і після припинення їхньої дії. Зокрема, у період впливу абіотичних чи антропогенних чинників, ґрунт для підтримання своїх функцій виявляє такі механізми [8]:

- стійкість як здатність горизонтів та деяких компонентів ґрунту зберігати склад і властивості під час хімічного й біохімічного впливу;
- міцність як можливість ґрунту та окремих його компонентів протидіяти зовнішньому впливу, не деформуючись до крайньої межі руйнування;
- адаптація як спроможність до збереження структури й особливості функціонування ценозу ґрунтових організмів унаслідок збурення його стану;
- інертність деяких компонентів ґрунту як здатність не взаємодіяти з екзогенними хімічними реагентами;
- буферність як здатність ґрунту підтримувати відносну стійкість окремих характеристик (рН, Eh) за невеликих змін його складу;
- пригнічення впливу фізичним опором, хімічною інактивацією, біологічним знищенням екзогенних речовин та організмів;
- інерційність реагування після впливу деяких чинників, що полягає у стримуванні різких, стрибкоподібних змін і забезпеченні повільних на початкових стадіях змін властивостей ґрунту під екзогенною дією;
- квазістаціонарний режим функціонування ґрунту, який передбачає підтримання й оновлення внутрішнього складу, будови та особливостей зв'язків між компонентами в умовах зміни зовнішніх чинників ґрунтоутворення (насамперед унаслідок флуктуації кліматичного і біологічного чинників);
- збереження ґрунтом свого просторового розміщення;
- надійність функціонування ґрунту в складі геосистеми як його спроможність виконувати вхідні, внутрішні й вихідні функції, зберігаючи у часі параметри, що забезпечують підтримання стану і функціонування інших компонентів геосистеми.

Аналіз чинних механізмів у системі еколого-економічного управління свідчить про те, що основу його становлять специфічні гармонійно поєднані принципи, до-

тримання яких є необхідною передумовою підвищення ефективності функціонування галузей в агроєкосистемі. Вони впливають на застосування, відтворення, збереження природних ресурсів та охорону НПС.

Основними принципами еколого-економічних механізмів управління використанням та охороною земель є:

- збереження природних корисних властивостей ґрунту і запобігання втратам його продуктивності у просторово-часовому вимірі;
- завчасне передбачення і стримування виникнення негативних наслідків господарської діяльності в агроєкосистемах (деградація, забруднення НПС) та їх ліквідація;
- максимальне обмеження діяльності небезпечних суб'єктів господарювання, що погіршує природне екологічне функціонування НПС і знижує родючість ґрунтів в агроєкосистемах;
- ефективне використання і відтворення природних ресурсів (родючість ґрунту, водойми, річки, ліси), яким сприяють природні чинники НПС;
- наукова обґрунтованість і забезпечення бездефіцитного балансу корисних властивостей ґрунту;
- цілеспрямоване й невиснажливе використання земельних ресурсів;
- сприяння природному відтворенню ґрунтів в агроєкосистемах;
- пріоритет екологічних інтересів у землекористуванні над економічними;
- відшкодування втрат, завданих земельним ресурсам і НПС, заподіяних державою або суб'єктами господарювання різної форми власності;
- збалансоване землекористування;
- системний підхід до розв'язання проблем у землекористуванні.

Важлива складова забезпечення ефективного природокористування в агроєкосистемах — це врахування механізму дії фаз циклу сонячної активності. Ґрунтуючись на представленні цього механізму як сукупності станів і процесів природного походження, за своїм характером дії він може не тільки спричиняти негативні нас-

лідки, що призводять до непередбачених утрат (заподіяння різного рівня збитків, утрата вигоди), або ставатися в майбутньому, але й гарантувати одержання прибутку в окремих фазах циклу сонячної активності. Ми вважаємо, що цей механізм у сільському господарстві має елементи ризику природного характеру. На нашу думку, тут формуються регулятивні функції категорії «господарський ризик» у двох формах. О.О. Рудич також виокремлює дві форми [9].

1. *Конструктивна форма* полягає в тому, що раціональне й відповідальне ставлення до ризику відіграє вагомий роль своєрідного каталізатора економічної активності, налаштовує суб'єктів господарської діяльності на досягнення важливих результатів нетрадиційними, ризикованими способами на подолання консерватизму, психологічних бар'єрів, що перешкоджають перспективним новаціям.

2. *Деструктивна форма* проявляється в ігноруванні ризику. Це механізм ухвалення рішень, які не мають обґрунтування, базуються на аналізі ризику і врахуванні закономірностей розвитку господарської діяльності підприємств.

Аналіз діяльності сільськогосподарських підприємств підтвердив, що зональне виробництво пшениці озимої лише завдяки заходам технологічних процесів неможливе. Необхідні зміни в системі управління, причому не поступові, а кардинальні з урахуванням подальшого вдосконалення системи управління на основі компонентів космічного механізму, які підвищують еколого-економічну ефективність сільськогосподарських підприємств.

Водночас космічні чинники у фізичній науці вважають екологічними. Тому в сільському господарстві система управління має поєднувати у собі основні компоненти космічного механізму, які зумовлюють фази циклів сонячної активності. Ніякі, окремо взяті й загалом, компоненти системи еколого-економічного управління в природокористуванні існувати не можуть без складових космічного механізму, а тільки в сукупності з ними. Це пов'язано з

прямою дією сонячної активності на рослини, а також із формуванням атмосферної циркуляції, яка викликає створення своїх природних компонентів — температури, вологості, тиску та ін. Тому сільськогосподарське виробництво перебуває під постійним глобальним фізичним впливом фаз циклу сонячної активності. Це потребує виокремити галузями сільського господарства своїх особливостей для виживання у природних умовах з одночасним виробництвом різних видів продукції.

Помітне значення у зазначеному періоді мають складові космічного механізму управління, спрямовані на розв'язання проблем, які серйозно загрожують зростанню збалансованості суспільного виробництва. Такі прояви на локальному або регіональному рівні завжди існують і мають подвійну дію: з одного боку, зумовлюють можливості досягнення успіху у виробництві, а з іншого — мають місце ризики для невиконання виробничих завдань регіону.

Варто наголосити на точнішій характеристиці важливості екологічних чинників у природокористуванні агроєкосистем, де дослідники зазначають, що абсолютно вся сукупність екологічних чинників, які формують природний комплекс, еволюційно зумовлена. Природа конкретно виразилась внаслідок дуже тривалого процесу вдосконалення, оформившись у тонку саморегулювальну систему, пізнавати яку й будувати господарську діяльність відповідно до неї є вагомим завданням.

З огляду на це, одним із основних завдань у процесі виробництва сільськогосподарської продукції є зменшення негативного впливу на НПС і врахування сукупності екологічних чинників, що утворюють природний комплекс. Зокрема, це стосується площини збалансованого розвитку галузей агроєкосистем, які узгоджуються до співіснування з природними компонентами. Це, без сумніву, в майбутньому зніме напруження проблеми зі збалансованості еколого-економічних і соціальних складових у суспільному виробництві та збереженні НПС.

Неабияку роль у здійсненні цих завдань відіграє механізм системи еколого-економічного управління у природокористуванні агроєкосистем (рис.).

Необхідно зазначити, що збалансованість механізмів в агроєкосистемі — складний процес. Адже під час створення сприятливих умов для розвитку збалансованого виробництва в агроєкосистемах базовою основою є еколого-економічні, космічні та соціальні складові, які гармонійно між собою пов'язані. Другорядність однієї з них призводить до ще більшої актуалізації

проблем у природокористуванні агроєкосистем.

Однак В.Н. Зіновчук [5], досліджуючи проблему збалансованого розвитку, вважає, що збалансований розвиток зазвичай розглядають як певний стан взаємозв'язків екологічної, економічної та соціальної систем, в якому еволюційні цілі цих систем збігаються. Втім у реальності цілі екологічної, економічної та соціальної систем не тільки не збігаються, але й суперечать одна одній. Цілі економічної системи спрямовані на збільшення виробництва това-



Структура управління природними ресурсами у фазах циклу сонячної активності
Примітка: за розробкою авторів та [2].

рів і послуг. Цілями розвитку соціальної системи є здобуття соціальної справедливості, збереження культури та мов різних народів, підвищення рівня знань людей тощо. Екологічна система має забезпечити збалансованість енергетичних і біологічних процесів. Тому проблема досягнення стало-го розвитку полягає насамперед у компромісі щодо суперечливих цілей економічних, екологічних та соціальних систем.

Все-таки розв'язання зазначених проблем у сільськогосподарському виробництві, безперечно, необхідно. В Україні сільське господарство представляє одну з важливих галузей матеріального виробництва. Це зумовлює організацію і проведення комплексу еколого-економічних дій у системі управління. Саме тому останніми роками приділяли належну увагу вирішенню екологічних проблем на основі застосування важелів екологічного механізму. До того ж важливими дієвими важелями екологічного механізму в системі управління можуть бути [1; 2]:

- екологічне страхування як форма відшкодування збитків, заподіяних порушенням права громадян на безпечне життя та здорове довкілля, яке поширене в багатьох країнах ЄС;
- екологічна освіта, що охоплює популяризацію екологічного програми національного розвитку, допомагає розробленню і впровадженню інновацій;
- поліпшення інвестиційного клімату в регіоні насамперед завдяки зниженню екологічного ризику;
- удосконалення екологічної інфраструктури виробничої сфери;
- стимулювання системи екологічно орієнтованого підприємництва;
- організація взаємодії державних структур із науково-дослідними організаціями екологічної спрямованості в межах пріоритетних еколого-економічних проєктів та ініціатив;
- екологізація процесів споживання і надання послуг, умов формування особистості й трудових ресурсів, типів і видів стандартів;
- екологічна паспортизація регіону.

У сучасних умовах розвитку різних галузевих форм виробництва, коли їхні економіки інтегруються в агроєкосистемах, неможливо обійтися без економічного механізму, який враховує і контролює економічні чинники. Зокрема це йдеться про ті, що спрямовані на використання природних ресурсів, а також на якісну оцінку відповідності системи управління оцінці впливу окремих інституційних і економічних перетворень на соціальну, економічну та екологічну ефективність його функціонування. Якісні оцінки характеризують повноту й працездатність нових і видозмінених елементів збалансованого ведення суспільного виробництва [6].

За визначенням [9], під механізмом розуміють систему, будову, спосіб, які окреслюють порядок певного виду діяльності або сукупність певних ланок і елементів, що приводять систему (механізм) до дії.

Будь-який механізм, задіяний у суспільному виробництві, що скерований на збалансований розвиток галузей агроєкосистем, є сукупністю організацій, інституцій, форм та методів, які використовують для узгодження інтересів суб'єктів господарювання, територіальних громад та органів влади на різних ієрархічних рівнях, забезпечення пропорційного розвитку підсистем у рамках збереження цілісності соціо-еколого-економічної системи [10].

Опрацювання літературних джерел у наукових дослідженнях свідчить про часте вживання поняття «економічний механізм». В економічному енциклопедичному словнику за редакцією С.В. Мочерного [11] визначено, що механізм (економічний) — це система прямих та опосередкованих взаємозв'язків між економічним явищем і процесом, передусім між їхніми протилежними сторонами, а також взаємодіяти їх підсистемам та елементам, які виникають у різних типах економічних систем (за наявності комплексу умов).

Природні ресурси, що застосовуються в агроєкосистемах для задоволення потреб людського суспільства (ресурси рослинного і тваринного походження, земельні, вод-

ні, рекреаційні тощо), дуже різноманітні, як і можливості їх використання суб'єктами господарювання різної форми власності [12]. Однак з еколого-економічного механізму виокремлюється економічний механізм екологічної політики, де зосереджують увагу на системі сталого розвитку.

«Економічний механізм екологічної політики системи сталого розвитку є дуалістичним за своєю суттю: з одного боку, обмежує екологічно несприятливу діяльність господарювання, а з другого, — стимулює до діяльності, спрямованої на поліпшення природного середовища» [5].

Соціальні проблеми зазвичай пов'язані з економічними або екологічними. Отже, якщо актуалізуються екологічні чи економічні проблеми, то виникають відповідні їй соціальні в природокористуванні агроєкосистем. Таке становище доцільно починати виправляти безпосередньо з вирішення еколого-економічних проблем.

На особливу увагу заслуговують чинники, що формують складну екологічну ситуацію у землекористуванні, які зазначив В.М. Будзак [10]. Зокрема до чинників, які зумовлюють складну екологічну ситуацію, належать: порушення законів природокористування під час обґрунтування моделей споживання і виробництва та розвитку територій; галузевий підхід до системного та інтегрального управління природними ресурсами; недостатнє екологічне обґрунтування обсягів використання ресурсів; екологічно не обґрунтована (деформована) структура промислово-виробничого сектору економіки; недотримання у всіх сферах виробничої діяльності природоохоронних вимог та основних принципів сталого природокористування; розселення людей і забудова територій без урахування наявності зсувонебезпечних ділянок, селевих потоків, карсту та ймовірності затоплення територій і значне зменшення лісистості водозборів річок.

Важливим аспектом соціального механізму є створення умов для підвищення рівня та поліпшення якості життя населення у регіонах із розвинутою сферою сільськогосподарського виробництва. Вод-

ночас індикаторами вважають: рівень споживання соціальних благ; народжуваність і смертність; фізичне та духовне здоров'я населення; тривалість життя тощо. Втім соціально орієнтований регіональний розвиток потребує розв'язання нагальних проблем і створення робочих місць та реальних програм зайнятості з урахуванням ідей збалансованості [13].

Слід також зазначити, що важливе значення в умовах постійної дії фаз циклів сонячної активності має визначення надійності еколого-економічних систем за [14], на нашу думку, вони характерні й для агроєкосистем: рівновага, сталість, (стійкість), живучість, безпека. Система показників має такий вигляд: стійкість (сталість); рівновага; безпека; живучість.

Л.М. Грановська [15] дає визначення вказаних показників, де **стійкість (сталість)** в економічній системі може:

- витримувати зміни, які створюються зовнішнім впливом чинників на систему (наприклад, антропогенний і техногенний тиск на природний ландшафт);
- чинити опір зовнішнім антропогенним та техногенним чинникам впливу;
- мати властивість відновлюватися й самовідновлюватися.

Рівновага — властивість еколого-економічної системи зберігати стійкість у регламентованих межах за антропогенних і техногенних змін природного ландшафту.

Живучість — властивість, яка характеризує дійсні показники екологічного захисту еколого-економічної системи, що виявляється в можливості біогеоценозів природного ландшафту самовідновлюватися.

Безпека — властивість, яка визначає допустимий еколого-економічний ризик утрат стійкості, рівноваги та живучості еколого-економічної системи.

Оскільки агроєкосистема у сільськогосподарському виробництві займає проміжне становище між природними і штучними екосистемами, а джерелом енергії є Сонце, паливо, тяглова сила та праця людей, межа її стійкості здатна витримувати більше навантаження впливу антропогенних

чинників, відповідно і функціонування показників стійкості, рівноваги, живучості та безпеки в сільськогосподарському виробництві. Проте межа стійкості агро-екосистеми не є безмежною і за певної дії антропогенних чинників втрачає свою здатність до стійкості, самовідновлення й деградує.

У такому разі зменшувати негативний вплив на галузі агроекосистем, створеного фізичними чинниками, доцільно шляхом контролю за станом розвитку основних біологічних організмів, задіяних у виробництві, використанням матеріально-технічних ресурсів, прийняттям управлінських рішень щодо реалізації заходів для забезпечення сталого розвитку галузей агроекосистем. Особливо складним є питання сталого еколого-економічного розвитку, який залежить від тривалості дії фізичних чинників та розв'язання інших проблем.

Л.М. Грановська вважає [15], що в основу стратегії управління еколого-економічною системою регіону мають бути покладені й такі концептуальні положення та фундаментальні принципи як:

- забезпечення комплексного й еколого-безпечного використання природно-ресурсного потенціалу регіону як для потреб промисловості, аграрного сектору, так і для потреб рекреаційно-туристського комплексу;
- вирішення існуючих конфліктів інтересів у сфері природокористування на основі компромісу й співпраці та запобігання виникненню інших конфліктів інтересів;
- передбачення заходів щодо поступового зменшення антропогенного і техногенного навантаження на НПС та його природні ресурси;
- забезпечення таких умов функціонування еколого-економічної системи регіону, за яких будь-який антропогенний і техногенний тиск на навколишнє середовище супроводжуватиметься з боку НПС реакцією адаптації (виникнення локальних порушень рівноваги) або реакцією відновлення (самовідновлення), коли

еколого-економічна система самостійно може повернутися до свого початкового стану. І ні в якому разі не допускати реакції безповоротного порушення рівноваги;

- тісний взаємозв'язок між розвитком трьох підсистем — економічної, соціальної та екологічної, а також між оптимізацією природокористування й поліпшенням екологічної ситуації в регіоні;
- забезпечення рівноваги еколого-економічної системи в межах регламентованих норм дотриманням екологічних критеріїв і вимог;
- передбачення комплексу заходів щодо радикального оздоровлення територій, які мають незадовільний екологічний стан.

Основними фундаментальними принципами при цьому вважаються [15]:

- збереження навколишнього природного середовища (зміни в ньому не повинні створювати загрози для життя людей за одночасного економічного розвитку регіону);
- збереження економічного потенціалу навколишнього середовища (не допускати такого антропогенного тиску на навколишнє природне середовище, за якого зміни стану перевищують межі екологічного потенціалу);
- охорона особливо цінних природних об'єктів (збереження рекреаційних і природоохоронних територій регіону);
- екологізація виробничих процесів (упровадження ресурсозберігаючих, мало- та безвідхідних технологій в усіх галузях економіки);
- екологізація економіки (розроблення і реалізація відповідної законодавчо-нормативної бази для застосування пільгової податкової, кредитної, страхової, митної та цінової політики за розв'язання екологічних, соціальних і ресурсних проблем регіону);
- забезпечення продовольчої безпеки (зменшенням ризиків негативних процесів у ході природокористування та впливі виробничої діяльності на навколишнє середовище).

Важливою проблемою є те, що нерівномірність розподілу впливу фізичних чинників спостерігається не тільки на локальному і регіональному рівнях, але й на зональному.

У результаті — галузі, що задіяні у процесі виробництва сільськогосподарської продукції, за впливу цих чинників зазнають економічних збитків у натуральному і грошовому виразі.

Отже, існують переконливі аргументи щодо впливу фізичних чинників природи на вирощування сільськогосподарських культур, особливо в різних фазах циклу сонячної активності. Тому необхідно враховувати у системі еколого-економічного управління природокористуванням їхню дію, як складову головних проблем, від яких залежить ефективність виробництва пшениці озимої.

Розв'язання еколого-економічних проблем, спричинених фізичними явищами за виробництва пшениці озимої, залежить від прийняття стратегічних управлінських еколого-економічних рішень, які забезпечують ефективне використання природних ресурсів та охорону НПС. Водночас, враховуючи динамічні зміни в сфері природокористування агроєкосистем, що коригуються тривалістю дії фізичних чинників природи, виникає питання пошуку заходів щодо усунення або зменшення їхнього негативного впливу на галузі сільськогосподарського виробництва та його природні ресурси.

ВИСНОВКИ

Результати наших досліджень показують, що в сучасних умовах господарювання для забезпечення збалансованого розвитку сільськогосподарських галузей вагому роль відіграють еколого-економічні, космічні й соціальні механізми. Саме вони в системі еколого-економічного управління сприяють реалізації управлінських рішень щодо функціонування галузей сільськогосподарського виробництва. Передусім це стосується вдосконалення системи управління у межах організаційно-правового поля та розв'язання складних соціально-економічних проблем.

Для гарантування ефективного ведення сільськогосподарського виробництва структура системи еколого-економічного управління слід доповнити чинниками космічного механізму, які мають неабияке значення у вирішенні еколого-економічних і соціальних проблем у суспільному виробництві.

З методичного підходу еколого-економічні та космічні механізми сприяють реалізації стратегічних напрямів господарювання, спрямованих на збереження й ефективне використання природних ресурсів як на рівні окремого суб'єкта господарювання, так і на рівні регіонального утворення. Отже, здійснюється ефективне природокористування, що дає змогу запобігти виникненню негативних процесів та своєчасно розв'язати екологічні проблеми в агроєкосистемах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мельник, П. П. (2016). Еколого-економічний механізм регулювання в природокористуванні агроєкосистем. *Przemysl Nauka i studia*, 18(149), 16–25.
2. Хвесик, М. А. (Ред.). (2013). *Формування моделі управління природними ресурсами в ринкових умовах господарювання*. Київ: ДУ ІЕПСР НАН України.
3. Добряк, Д. С., Дребот, О. І., Мельник, П. П., & Сахарнацька, Л. І. (2020). Стан і перспективи розвитку еколого-економічної інтегрованості землекористування в агросфері. *Збалансоване природокористування*, 3, 5–16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2020.212596>.
4. Дребот, О. І., Шершун, М. Х., Шкуратов, О. І., & Фурдичко, О. І. (2014). *Агроєкологія: моногр.* Київ: Аграрна наука.
5. Зіновчук, Н. В. (2015). Збереження біорізноманітності як імператив збалансованого розвитку України. *Збалансоване природокористування*, 3, 9–12.
6. Мішенін, Є. В., Кобилянська, І. І., Устик, Т. В., & Ярова, І. Є. (2013). *Екологоорієнтоване логістичне управління виробництвом: моногр.* (Є. В. Мішенін, Ред.). Суми: Папірус.
7. Головіна, О. Л., Терещенко, В. Ф., & Мельник, П. П. (2015). Еколого-економічні механізми екологічного аудиту в сільськогосподарському виробництві. *Przemysl Nauka i studia*, 8(139), 27–32.
8. Фурдичко, О. І. (2014). *Екологічні основи збалансованого розвитку агросфери в контексті європейської інтеграції України*. Київ: АСВ.

9. Рудич, О. О. (2012). Економічна сутність ризику та особливості його прояву в діяльності аграрних підприємств. *Економіка та утворення АПК: зб. наук. пр. Білоцерк. НАУ*, 7(93), 59–63.
10. Будзяк, В. М. (2013). *Несільськогосподарське землекористування: проблеми та пріоритети*. Київ: Аграрна Медіа Груп.
11. Мочерний, С. В. (Ред.), Ларіна, Я. С., & Устенко, О. А. (2006). *Економічний енциклопедичний словник* (Т. 2). Львів: Світ.
12. Костерін, В. О. (2007). Економічні механізми екологічної політики у системі сталого розвитку. *Регіон. економіка*, 1, 153–160.
13. Саєнко, Г. В., & Папайка, О. О. (2005). *На шляху до сталого розвитку економіки: господарський механізм взаємодії*. Донецьк: Вид-во ДонДУЕТ ім. Туган-Барановського.
14. Руденко, М. Д. (1998). *Енергія прогресу: Нариси з фізичної економії*. Київ: Молодь.
15. Грановська, Л. М. (2015). Теоретико-методологічні аспекти управління регіональною еколого-економічною системою. *Збалансоване природокористування*, 4, 31–37.

Стаття надійшла до редакції журналу 27.12.2024

АНТРОПОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ ФІТОЦЕНОЗІВ МЕЗОТРОФНИХ БОЛІТ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

В.В. Конішук¹, І.В. Хом'як², І.В. Шумигай¹

¹Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: konishchuk_vasyl@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4115-5642

e-mail: innashum27@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0432-2651

²Житомирський державний університет імені Івана Франка (м. Житомир, Україна)

e-mail: khotmyakivan@gmail.com; ORCID: 0000-0003-0080-0019

Болотні екосистеми на фоні глобальних змін клімату є найуразливішими екосистемами та можуть стати стабілізаторами мезоклімату, частково знівелювати негативні наслідки цих змін у адаптаційних процесах. Саме тому вивчення перетворення боліт за прямого та опосередкованого впливу антропогенної діяльності є актуальним завданням. Мета роботи — здійснення інтегрованої оцінки трансформації мезотрофних боліт. Матеріалами були стандартні 78 геоботанічних описів, створених упродовж 2004–2021 рр. Дослідження проводилися із застосуванням класичних екологічних, геоботанічних методів. Для встановлення показників природної динаміки та антропогенної трансформації використовувалися авторські методики. Еталонним синтаксоном обрано клас рослинності *Scheuchzeria palustris*-*Caricetea fuscae*. Його фітоценотичне різноманіття включає 2 порядки, 3 союзи та 22 асоціації. Найчастіше зустрічаються асоціації *Caricetum nigrae* (19% опусів), *Caricetum lasiocarpae* (15%), *Sphagno fallacis*-*Calletum palustris* (12%), *Carici-Menyanthesetum* та *Drepanoclado fluitantis*-*Caricetum limosae* (8%). За даними синфітоіндикаційного аналізу найширшу амплітуда показників відмічено в аерації ґрунту (42% перекриття шкали), вмісті доступного нітрогену (36) й кислотності (31%). Кліматичні чинники мають вузькі амплітуди: освітленість (18%), кріорежим (17), терморезим (15), омборежим (14) та континентальність (14%). Між показниками багаторічного зволоження та природної динаміки спостерігається обернено лінійна залежність із вірогідністю апроксимації, що сягає 0,22. Ксерофітизація Полісся, викликана змінами клімату, сприяє перетворенню мезотрофних боліт на заболочені луки із чагарниками, вологі ліси. Показник антропогенної трансформації варіює від олігогемеробії (4,7 бали) до мезогемеробії (6,9 бали). 64% екосистем мезотрофних боліт є олігогемеробними, що засвідчує низьку антропоотолерантність оселищ. За час досліджень на болотах виявлено поширення аронії чорноплідної (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott) та золотарника канадського (*Solidago canadensis* L.). Підкісні, зникаючі оселища мезотрофних боліт із раритетною компонентою біоти необхідно включати до природно-заповідного фонду.

Ключові слова: гемеробія, екоєкологія, ксерофітизація, синтаксономічна схема, зміни клімату.

ВСТУП

Зміни клімату, що наразі часто спостерігаються, мають багато різноманітних загрозливих проявів. На болотах Полісся впродовж останніх десятиліть спостерігаються активні процеси ксерофітизації, сільватизації та зміни водного режиму. За впливу цих змін відбувається трансформація природних екосистем, яка відображається у перестановці та заміні еконіш, викликаних порушеннями зволоження

ґрунту та евтрофікацією водойм. На підставі наведеного виділяють 2 групи екосистем. До першої групи входять екосистеми, що найуразливіші до ксерофітизації Полісся, а до другої — ті, які здатні знизити негативні наслідки кліматичних перетворень та можуть частково проявити саморегулювання екологічного стану.

Згідно із власних досліджень останніх п'яти років та за літературними даними [1], болотні екосистеми належать до найуразливішої категорії. Дуже часто вони пере-

творюються на луки та надалі заростають дерево-чагарниковою рослинністю, що зумовлює не лише зменшення обсягу екосистемних послуг, які надають ці оселища, а й низку небезпечних змін для їхньої біоти, зокрема раритетної компоненти (охоронювані реліктові, погранично-ареальні, зникаючі види). Найвідчутнішими збитками є втрата водо-, кліматорегулювальної функцій, що впливають на суспільство та сталий розвиток довкілля.

Зниження у забезпеченості едафотопу мезотрофних гелоландшафтів вологою спричиняє дуже швидке їхнє перетворення. Натомість оліготрофні болота через низький вміст мінеральних солей, високу кислотність та потужний шар торфу сповільнюють свою трансформацію [2].

Отже, важливим та актуальним є вивчення екологічного спектра умов середовища, фітоценотичного складу та рівня антропогенної трансформації екосистем мезотрофних боліт. Такі дані є основою обґрунтування побудови прогнозів подальшого розвитку цих екосистем на фоні кліматичних змін та розробки алгоритмів їх запобігання, ренатуралізації тощо.

Існує гостра потреба інтегральної оцінки антропогенної трансформації боліт [3]. Тому нами були здійснені дослідження щодо окремих аспектів антропогенного впливу на мезотрофні болота.

Тож **метою роботи** є проведення інтегрованої оцінки антропогенної трансформації мезотрофних боліт.

Відповідно до мети поставлено завдання:

- визначити фітоценотичне різноманіття мезотрофних боліт;
- встановити величину інтегрованого показника антропогенної трансформації мезотрофних боліт;
- порівняти залежність між рівнем антропогенних змін та показниками чинників середовища.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У «донауковий» період розвитку екології щодо боліт зазвичай панувало нега-

тивне ставлення за винятком мисливців або збирачів журавлини [4]. Дослідники екології боліт із Вагенінгенського університету [5] звертають увагу на те, що більшість населення формувало своє ставлення про болота, як про непридатні для сільського господарства землі. Як стверджують Джеспер Моеслунд та його колеги із Орхуського університету [6], це сприяло реалізації проєктів їхнього заводнення або, навпаки, відведення води. Також болота часто розглядалися виключно як джерело торфу. Лише на межі між ХХ і ХХІ ст. людство усвідомило значення боліт і почало розробляти заходи із їхньої охорони [7]. За словами Дугласа Спілеса (Університет Денісона, США) [8], багатьом болотам у минулі роки було завдано шкоди, або цей негативний вплив на них продовжується і нині. До того ж з'являються численні проєкти щодо охорони боліт і відновлення їхнього природного стану [9]. Як зазначають О.А. Власюк та О.В. Абрамович [10], усі роботи вимагають побудови прогнозів наслідків такої діяльності із врахуванням рівня антропогенної трансформації болотних оселищ.

В Україні ця проблема після негативних наслідків осушувальної меліорації (понад 50% боліт осушено) загострилася через повномасштабні воєнні дії, техногенне забруднення, пожежі та ін. З одного боку, частина боліт постраждали від ведення бойових дій, а із іншого, вони можуть бути надійними оборонними перепонами. Крім того, такі вчені, як Абдул Малак та Г.А. Чорна із співавт. [11; 12], розглядають проблему антропогенних перетворень боліт на фоні змін клімату. Техногенно-антропогенний та воєнний впливи у поєднанні зі кліматичними змінами створюють загрозу не лише для боліт, а загалом екологічному стану навколишнього природного середовища.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вихідними матеріалами досліджень стали 78 стандартних геоботанічних описів, створених під час польових досліджень у

період із 2004 по 2021 рр. Польові дослідження здійснювалися маршрутно-експедиційним методом.

Геоботанічний опис включав у себе характеристики умов середовища та проєктивні покриття вищих судинних лісів визначені за шкалою розробленою на основі семибальної шкали Браун-Бланке. До того ж було проведено перетворення класичної семибальної шкали в п'ятибальну: для проєктивного покриття виду вище 75% присвоювалися 5 балів; у межах 50–75% — 4 бали; у межах 25–50% — 3 бали; у межах 5–25% — 2 бали; менше 5% — 1 бал. Тому категорії Браун-Бланке «1 бал», «+» та «г» у новій шкалі отримали значення «1 бал».

Координати описів встановлювалися за допомогою GPS-навігатора, а експозиція та крутизна схилів — мобільних додатків «GPSTest» та «Clinometr».

База даних геоботанічних описів була створена завдяки програмі «Turboveg for Windows 2.0.» [13]. Обрахунок показників чинників середовища, динаміки та інтегрованої антропогенної трансформації визначалися із використанням синфітоіндикаційної методики за допомогою Simagrl 1.12.

База даних із уніфікованою шкалою Дідуха–Плюти та база даних «EcoDBase 5d» із використанням 18-бальної шкали Дідуха–Хом'яка застосовувалася відповідно для визначення чинників середовища та антропогенного тиску [14; 15].

Стандартні геоботанічні описи було об'єднано із використанням програми «Turboveg for Windows» та у вигляді файлів таблиць XML експортовано у програму «JUICE 7.1.29». Унаслідок цього, отримані фітоценотичні таблиці було збережено в форматі WCT (Table format WCT–JUICE). Після перевірки можливості дублювання видів, схожі геоботанічні описи об'єднувалися із використанням кольорового кодування.

Використавши інтегровану в JUICE програму TWINSPAN, дані описи було об'єднано в кластери на підставі їхньої вірності. Згодом, нами було виділено характерні, константні, діагностичні та до-

мінантні види. Надалі утворені фітоценози ідентифікувалися за блоками діагностичних відповідно до «Продромусу рослинності України» [16].

Назви видів вищих судинних рослин подано переважно із врахуванням «Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist» [17].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

З метою отримання більш верифікованих моделей нами відібрані описи мезотрофних боліт, які були віднесені до класу *Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae* Tx. 1937. Цей клас є еталонним рослинним угрупованням для мезотрофних боліт Українського Полісся [18].

Синтаксономічна схема класу *Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae* Tx. 1937 включає: *Caricetalia fuscae* Koch 1926: *Caricion fuscae* Koch 1926: *Calamagrostietum neglectae* Steffen 1931, *Caricetum nigrae* Braun 1915, *Parnassio palustris-Caricetum fuscae* Oberdorfer 1957; *Scheuchzerietalia palustris* R. Tx et Nordhagen 1937: *Stygio-Caricion limosae* Nordhagen 1943: *Caricetum chordorrhizae* Paul et Lutz 1941, *Caricetum diandrae* Osvald 1923, *Caricetum heleonastes* (Paul et Lutz 1941) Oberdorfer 1957, *Caricetum lasiocarpae* Koch 1926, *Sphagno recurvi-Eriophoretum angustifolii* (Hueck 1925) R. Tüxen 1958, *Sphagno warnstorffii-Caricetum dioicae* Gillet 1982; *Scheuchzerion palustris* Nordhagen 1936: *Drepanoclado fluitantis-Caricetum limosae* (Kästner et Flössner 1933) Krisai 1972, *Rhynchosporo albae-Sphagnetum tenelli* Osvald 1923, *Drosero intermediae-Rhynchosporium albae* (Allorge & Denis 1923) Allorge 1926, *Polytrichum communis-Molinietum caeruleae* Hadač et Váňa 1967, *Scheuchzerietum palustris* Tx. 1937, *Sphagnetum fallaci-palustris* Passarge 1999, *Sphagno fallacis-Calletum palustris* Passarge 1999, *Sphagno fallacis-Phragmitetum australis* (Jeschke 1961) Passarge 1999, *Carici canescentis-Agrostietum caninae* Tüxen 1937, *Sphagno recurvi-Caricetum rostratae* Steffen 1931, *Carici echinatae-Sphagnetum* Soó 1944, *Menyantho trifoliatae-Sphagnetum*

teretis (Waren 1926) Dierssen 1982, *Carici-Menyanthetum* Soó 1955.

Рослинність цього класу належить до 2 порядків, 3 союзів та 22 асоціацій. Найпоширеніші фітоценози *Caricetum nigrae* (19% описів), *Caricetum lasiocarpae* (15), *Sphagno fallacis-Calletum palustris* (12), *Carici-Menyanthetum* та *Drepanoclado fluitantis-Caricetum limosae* (8%).

Фітоугруповання союзу *Caricion davaliana* Klika 1934 переважно поширені на карбонатних болотах Лісостепу України. Фітоценози класу *Oxycocco-Sphagneta* Br.-Bl. et Tx. ex Westhoff, Dijk et Paschier 1946 зростають у межах еумезотрофних, мезотрофних, оліготрофних, омбротрофних торфових боліт як на території Полісся, так і фрагментарно в Карпатах.

За даними синфітоіндикаційного аналізу фітоугруповання *Scheuchzerio palustris-*

Caricetea fuscae трапляються в екотопах із різними амплітудами зміни екологічних чинників. До того ж спостерігається широка амплітуда для аерації ґрунту (42% перекриття шкали), вмісту доступного нітрогену (36) й кислотності (31%). Натомість кліматичні чинники мають вузькі амплітуди показників: освітленість (18%), кріорежим (17), терморежим (15), омборежим (14) та континентальність (14%) (табл. 1; 2).

Висока амплітуда показника природної динаміки (30%) підтверджує, що мезотрофні болота класу *Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae* представляють собою доволі відмінні за положенням у сукцесійних серіях екосистеми, до яких входять, як чисті мохово-осокові (ST=4,38), так із частково заліснені масиви (ST=10,74).

Між показником природної динаміки та деякими чинниками навколишнього середо-

Таблиця 1. Статистичні параметри синфітоіндикаційних показників едафічних чинників середовища в описах класу *Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae*

Статистичні параметри	Синфітоіндикаційні показники*						
	HD	FH	RC	SL	CA	NT	AE
Середнє	15,66	4,15	5,99	5,32	4,31	4,31	10,89
Максимум	18,44	5,90	7,75	7,40	6,04	6,88	13,14
Мінімум	12,27	2,96	3,78	3,01	2,79	2,96	6,77
Амплітуда	6,17	2,94	3,97	4,39	3,25	3,92	6,37
Частка перекриття шкали	0,27	0,27	0,31	0,23	0,25	0,36	0,42

Примітки: * HD — багаторічний режим зволоження; FH — змінність зволоження; RC — кислотність ґрунту; SL — загальний сольовий режим; CA — вміст карбонатів; NT — уміст доступного нітрогену; AE — аерація ґрунту.

Таблиця 2. Статистичні параметри синфітоіндикаційних показників кліматичних та динамічних чинників середовища в описах класу *Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae*

Статистичні параметри	Синфітоіндикаційні показники*						
	TM	OM	KN	CR	LC	HE	ST
Середнє	7,42	13,82	8,52	7,29	7,26	5,79	6,21
Максимум	9,00	14,74	9,59	8,81	7,83	6,91	10,74
Мінімум	6,41	11,56	7,25	6,31	6,23	4,76	4,38
Амплітуда	2,59	3,17	2,34	2,50	1,60	2,15	6,36
Частка перекриття шкали	0,15	0,14	0,14	0,17	0,18	0,12	0,30

Примітки: * TM — терморежим; OM — омборежим; KN — континентальність; CR — морозність (кріорежим); LC — освітленість; HE — показник антропогенної трансформації; ST — показник природної динаміки.

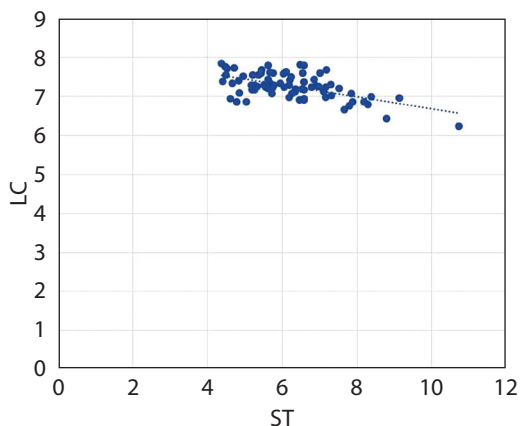


Рис. 1. Залежність між показником природної динаміки (ST) та освітленістю поверхні ґрунту (LC)

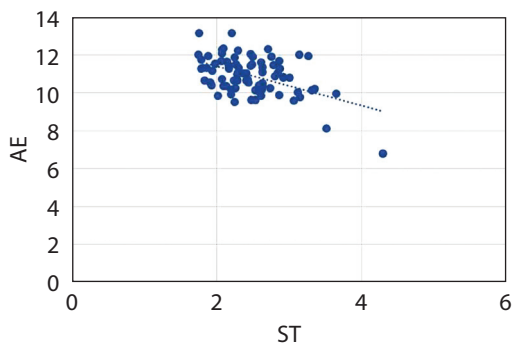


Рис. 2. Залежність між показником природної динаміки (ST) та аерацією ґрунту (AE)

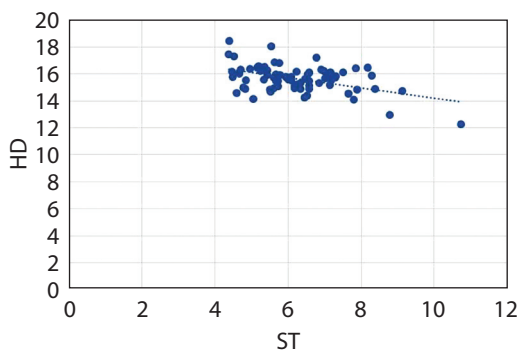


Рис. 3. Залежність між показником природної динаміки (ST) та багаторічним режимом зволоження (HD)

вища є істотна кореляція. Так, між ним і освітленістю поверхні ґрунту існує обернено лінійна залежність, індекс вірогідності апроксимації якої сягає 0,33 (рис. 1).

Така залежність є логічною закономірністю розвитку екосистеми. Під час автогенної сукцесії відбувається зростання надземної фітомаси за рахунок формування заростей фанерофітів.

Складніше пояснити добре виражену обернену кореляцію між показниками природної динаміки та аерацією ґрунту (рис. 2), результат вірогідності апроксимації для цієї залежності рівний 0,25.

Один із найважливіших показників на фоні глобальних змін клімату є багаторічний режим вологості, що визначається, як кількістю опадів та їхнім розподілом із часом, так і спроможністю субстрату (ґрунту, торфу) утримувати вологу доступну для біоти. Варто зазначити, що існує явище «фізіологічної сухості» торфових боліт — коли за значної водності екотопу гелоландшафту, засвоєння вологи рослинами часто недостатнє. Між показниками багаторічного зволоження та динаміки існує обернено лінійна залежність із результатом достовірності апроксимації 0,22 (рис. 3). Отже, зміни погодно-кліматичних умов і наслідки осушувальної меліорації зумовлюють ксерофітизацію мезотрофних боліт Полісся, їх заліснення та зміни флористичного складу (від гелофітів до пратантів, сільвантів).

Крім опосередкованого впливу на мезотрофні болота через клімат та інші чинники існує і прямий антропогенний вплив, до якого входять заходи із меліорації, провоювання пожеж, видобування корисних копалин (торф, пісок, бурштин тощо), будівництво промислових об'єктів та елементів інфраструктури. Менше впливають заходи щодо вилучення, використання біоти (полювання, вирубка дерев і чагарників, збір ягід та лікарських рослин, сінокошіння) [19; 20]. Раніше сінокошіння навіть сприяло меншому прояву сільватизації на відміну від сучасної резерватогенної сукцесії. Інтегрований показник антропогенної трансформації варіює від олігогемеробії (4,7 бала) до легкої мезогемеробії (6,9 бала).

Переважно екосистеми мезотрофних боліт є все-таки олігомеробними (64%), що засвідчує низьку антропогенну толерантність цих оселищ. Окрім того, вони існують у вузькому діапазоні антропогенних чинників, який перекриває лише 2,1% шкали. Оскільки на території Полісся незначний обсяг оселищ із рівнем антропогенної трансформації (нижче 4,8 бала), то саме її зростання вище 7 балів сприяє до цілковитого зникнення або перетворення цих екосистем.

Незважаючи на те, що для більшості обстежених територій між показниками природної динаміки та антропогенної трансформації існує чітка обернено лінійна кореляція, в мезотрофних болотах вона виражена набагато слабше, оскільки дані вірогідності апроксимації лише 0,02 (рис. 4).

Між антропогенною трансформацією та деякими іншими чинниками існує більш чітко виражена залежність (табл. 3). Істотніше це проявляється для змінності зволоження (0,69), терморегіму (0,4), загаль-

Таблиця 3. Показники вірогідності апроксимації взаємозв'язку між чинниками середовища та антропогенною трансформацією

Чинник навколишнього середовища*	Величина вірогідності апроксимації
HD	0,08
FH	0,69
RC	0,21
SL	0,39
CA	0,22
NT	0,38
AE	0,13
TM	0,40
OM	0,26
KN	0,11
CR	0,11
LC	0,07

Примітки: * HD — багаторічний режим зволоження; FH — змінність зволоження; RC — кислотність ґрунту; SL — загальний сольовий режим; CA — вміст карбонатів; NT — уміст доступного нітрогену; AE — аерація ґрунту; TM — терморегіму; OM — омборежим; KN — континентальність; CR — морозність (кріорежим); LC — освітленість.

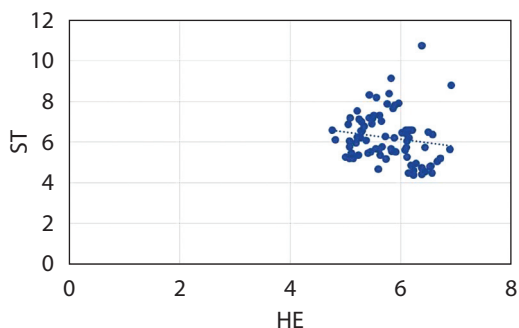


Рис. 4. Залежність між показниками антропогенної трансформації (HE) та природної динаміки (ST)

ного сольового режиму (0,39) та вмісту доступного нітрогену (0,38), що висвітлено на рис. 5.

Це свідчить про те, що мезотрофні болота за умов підвищення температури, коливальності рівня зволоженості та збільшення концентрації солей, зокрема нітратів і солей амонію стають найуразливішими до антропогенного впливу. Тому, опосередкований антропогенно-техногенний вплив на клімат і сольовий режим мезотрофних боліт зменшує їх антропогенну толерантність. Подвійний тиск спричиняє меншу резистентність мезотрофних боліт до антропогенно-техногенної діяльності.

Раніше торфові болота на Поліссі — це одні з небагатьох екосистем, де були майже

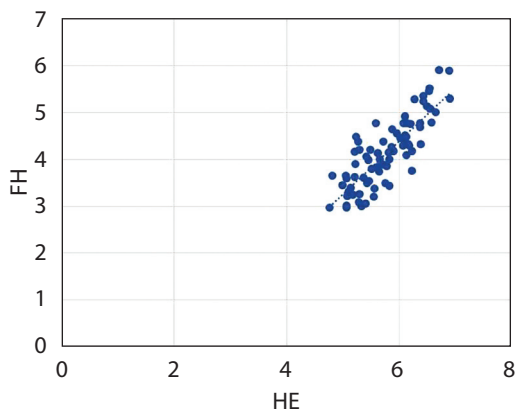


Рис. 5. Залежність між показниками антропогенної трансформації (HE) та змінністю зволоження (FH)

відсутні адвентивні, інвазійні види, через екстремальні екологічні умови (підвищена кислотність, надмірне зволоження, фізіологічна сухість, переважання органічних сполук над мінеральними тощо). За період досліджень на болотах, нами вперше виявлено поширення аронії чорноплідної (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott) (Волинська, Рівненська, Житомирська обл.; плоди переносять птахи), золотарника канадського (*Solidago canadensis* L.) (територія всього Полісся; алелопатичний вид із анемохоричним поширенням).

Антропогенна трансформація торфових мезотрофних боліт Полісся є актуальною екологічною проблемою, тому питання збереження, реабілітації, ренатуралізації гелоландшафтів є одним із пріоритетів сучасних наукових досліджень і збереження біорізноманіття.

ВИСНОВКИ

Доведено, що досліджений нами клас рослинних угруповань *Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae*, фітоценотичне різноманіття якого включає 2 порядки, 3 союзи та 22 асоціації (домінувальні: *Caricetum nigrae* (19% описів), *Caricetum lasiocarpae* (15%), *Sphagno fallacis-Calletum palustris* (12%), *Carici-Menyanthetum* та *Drepanocladum fluitantis-Caricetum limosae* (8%)) є еталонним синтаксоном для вивчення екологічних змін мезотрофних боліт Полісся.

За даними синфітоіндикаційного аналізу широка амплітуда показників чинни-

ків характерна для аерації ґрунту (42% перекриття шкали), вмісту доступного нітрогену (36) й кислотності (31%). Погодно-кліматичні чинники мають вузькі амплітуди показників, зокрема освітленість (18%), кріорежим (17), терморежим (15), омборежим (14) та континентальність (14%), що вказує на подібність фізико-географічних умов боліт.

Між показниками багаторічного зволоження та природної динаміки спостерігається обернено лінійна залежність із результатом достовірності апроксимації 0,22. Тому ксерофітизація Полісся, викликана змінами клімату, sukcesіями зумовить перехід мезотрофних боліт на стадії вологих лук і чагарників, заболочених лісів.

Інтегрований показник антропогенної трансформації варіює від олігогемеробії (4,7 бала) до мезогемеробії (6,9 бала). Майже 64% екосистем мезотрофних боліт є олігогемеробними. Вони існують у вузькому діапазоні антропогенних чинників, який перекидає лише 2,1% шкали, що свідчить про їхню низьку антропогенну вразливість.

Отже, зростання інтенсивності погодно-кліматичних змін, антропогенної, техногенної діяльності в мезотрофних болотах спричиняє їх трансформацію, зникнення. Тому, на мезотрофних болотах потрібно проводити моніторинг динаміки, розвитку екосистем та включати їх до об'єктів природно-заповідного фонду, екомережі EMERALD.

ЛІТЕРАТУРА

1. Коніщук, В. В. (2013). Екологічні особливості та сукцесії боліт поліського природного заповідника. *Заповідна справа в Україні*. Т. 19, Вип. 1, 69–73.
2. Балашов, Л. С., Григора, І. М., Воробйов, Є. О., & Соломаха, В. А. (2006). Лісові болота Українського Полісся (походження, динаміка, класифікація). *Український ботанічний журнал*, 63(5), 730–734.
3. Newton, A., et al. (2020). Anthropogenic, direct pressures on coastal wetlands. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 144. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00144>.
4. Lindner, M., & Hobohm, C. (2021). Wetlands: Challenges and possibilities. *Perspectives for Biodiversity and Ecosystems*, 311–327. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-57710-0_13.
5. Paulissen, M., van Beek, R., & Huijbens, E.H. (2024). How Bogs Made for Borderlands: The Eastern Low Countries. *Environment and history*, 30(2), 211–240. DOI: <https://doi.org/10.3197/096734022X16627150608050>.
6. Moeslund, J. E., Andersen, D. K., Brunbjerg, A. K., Bruun, H. H., Fløjgaard, C., McQueen, S. N., ... Ejrnæs, R. (2023). High nutrient loads hinder successful restoration of natural habitats in freshwater wetlands. *Restoration Ecology*, 31(7), 1379–1386. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13796>.
7. Temmink, R. J., Robroek, B. J., van Dijk, G., Koks, A. H., Käärmelahti, S. A., Barthelmes, A., & Smolders, A. J.

- (2023). Wetscapes: Restoring and maintaining peatland landscapes for sustainable futures. *Ambio*, 52(9), 1519–1528. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01875-8>.
8. Spieles, D. J. (2022). Wetland construction, restoration, and integration: A comparative review. *Land*, 11(4), 554. DOI: <https://doi.org/10.3390/land11040554>.
9. Manton, M., Makrickas, E., Banaszuk, P., Kołos, A., Kamocki, A., Grygoruk, M., ... Angelstam, P. (2021). Assessment and spatial planning for peatland conservation and restoration: Europe's trans-border Neman River basin as a case study. *Land*, 10(2), 174. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10020174>.
10. Власюк, О. А., & Абрамович, О. В. (2011). Диференційоване використання та охорона осушуваних ґрунтів Полісся України. *Таврійський науковий вісник*, 76, 304–310.
11. Malak, D. A., Marín, A. I., Trombetti, M., & Roman, S. S. (2021). *Carbon pools and sequestration potential of wetlands in the European Union*. European Topic Centre on Urban, Land and Soil Systems.
12. Чорна, Г. А., & Багацька, Т. С. (2008). Антропогенна трансформація фіторізноманіття карбонатних боліт вододілу басейнів рік Дністер та Прип'ять. *Інтродукція рослин*, 2(2), 27–35.
13. Hennekens, S. M. (2009). *TURBOVEG for Windows*. (Version 2). Inst. voor Bos en Natuur, Wageningen.
14. Дідух, Я. П. (2012). *Основи біоіндикації*. Київ: Наукова думка.
15. Khomiak, I., Harbar, O., Kostiuk, V., Demchuk, N., & Vasylenko, O. (2024). Synphytoindication models of the anthropogenic transformation of ecosystems. *Natura Croatica*, 1, 65–77. DOI: <https://doi.org/10.20302/NC.2024.1.5>.
16. 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.
17. Mosyakin, S. L., & Fedoronchuk, M. M. (1999). *Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist*. Kyiv. National Academy of Sciences of Ukraine. MG Kholodny Institute of Botany.
18. Пашкевич, Н. А. (2013). Еколого-фітоценотична оцінка рослинності деяких торфових боліт Волинського Полісся. *Екологія водно-болотних угідь і торфовищ (збірник наукових статей)* (с. 228–232). Київ: ДІА.
19. Ostad-Ali-Askari, K. (2022). Review of the effects of the anthropogenic on the wetland environment. *Applied Water Science*, 12(12), 260. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01767-4>.
20. Deng, G., Gao, J., Jiang, H., Li, D., Wang, X., Wen, Y., ... He, C. (2022). Response of vegetation variation to climate change and human activities in semi-arid swamps. *Frontiers in plant science*, 13, 990592. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.990592>.

Стаття надійшла до редакції журналу 29.11.2024

ВІДНОВЛЕННЯ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ЯК ОСНОВА ЗБАЛАНСОВАНОГО РОЗВИТКУ АГРОЛАНДШАФТІВ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Л.А. Райчук, І.К. Швиденко, Г.М. Чоботьюко

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

e-mail: edelvice@ukr.net; ORCID: 0000-0002-2552-4578

e-mail: favor09@ukr.net; ORCID: 0000-0002-6135-8968

e-mail: chobotko@ukr.net; ORCID: 0000-0001-8228-4331

У статті досліджено сучасний стан та перспективи реабілітації лісових екосистем як необхідного елементу збалансованого розвитку агроландшафтів радіоактивно забруднених територій Українського Полісся. Використовуючи дані Global Forest Watch, European Forest Fire Information System та Global Wildfire Information System, проаналізовано динаміку втрат лісового покриву за 2001–2025 рр. та встановлено основні причини деградації лісових екосистем регіону: вирубки, які перевищують темпи лісовідновлення, кліматичні зміни та їхні наслідки, а з 2022 р. — повномасштабна російська військова агресія. Виявлено, що найбільші втрати лісовкритих площ зафіксовано у Житомирській, Рівненській, Київській та Волинській обл., які забезпечили 52% загальних втрат лісів України. Окупація 600 тис. га лісів із приблизно 10,5 млн га загального фонду призвела до прямих збитків лісовій галузі в розмірі 13,2 млн грн, однак ця сума не враховує довгострокових негативних наслідків, як-от деградація екосистем, незаконні вирубки, порушення біорізноманіття, забруднення навколишнього середовища та руйнування інфраструктури лісового господарства. Ідентифіковано системні проблеми в управлінні лісовими екосистемами: недосконалість державної політики щодо використання екосистемних послуг лісів, недостатнє фінансування заходів із подолання наслідків зміни клімату, застарілість матеріально-технічної бази та стратегій управління. Відмічено, що екологізація та модернізація лісової галузі в 2021 р. дала змогу зменшити площі лісових пожеж у 259 разів завдяки впровадженню постійного дистанційного онлайн-моніторингу. Обґрунтовано необхідність кластеризації лісогосподарської галузі як інноваційного підходу до відновлення лісових екосистем, що забезпечить збалансування економічної, соціальної та екологічної складових розвитку регіону. Враховуючи специфіку централізованої структури управління лісовим господарством в Україні, важливим є створення механізмів інтеграції державних та приватних інтересів у рамках кластера для поліпшення координації і стимулювання інноваційних підходів, а також залучення інвестицій. Доведено, що найбільший потенціал для створення лісовиробничих кластерів мають Житомирська, Київська, Рівненська і Волинська обл., які характеризуються високою виробничою ефективністю. Запропоновано комплексний підхід до реабілітації лісових екосистем, який має бути інтегрований у загальну стратегію відродження територій, постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС.

Ключові слова: лісові формації, забруднені радіонуклідами ландшафти, кластеризація, лісовідновлення, екосистемні послуги, збалансований розвиток.

ВСТУП

Лісові екосистеми відіграють ключову роль у підтримці екологічного балансу, регулюванні клімату, збереженні водних ресурсів та біорізноманіття. На території Українського Полісся ліси не лише забезпечують суспільство матеріальними ресурсами, але й виконують важливу бар'єрну функцію на радіоактивно забруднених те-

риторіях, особливо у північних районах Київської та Житомирської обл. Упродовж останніх десятиліть лісові екосистеми Полісся зазнали істотної шкоди спричинених зміною клімату та антропогенною діяльністю, а з 2022 р. — і через повномасштабну російську військову агресію Росії. Хвойні ліси, що традиційно переважають у регіоні, виявилися особливо вразливими до зміни умов навколишнього середовища, включа-

ючи підвищення температури, зниження рівня зволоженості, епіфітотії, епізоотії та пожежі. Як наслідок втрата значних площ лісового покриву на Поліссі має не лише екологічні, а й відчутні економічні наслідки, враховуючи, що лісове господарство є одним із ключових секторів економіки регіону.

Метою цього дослідження є обґрунтування необхідності реабілітації лісових екосистем як невід'ємного елементу збалансованого розвитку агроландшафтів радіоактивно забруднених територій Українського Полісся.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питання стану лісових екосистем та їх реабілітації на територіях Українського Полісся є об'єктом дослідження численних наукових праць і перебуває в центрі уваги сучасної екологічної та лісгосподарської науки. Аналіз публікацій О.І. Фурдичка, С.В. Зібцева, І.Ф. Букши [1; 2] свідчить про актуальність проблеми зменшення лісовкритих площ та погіршення стану лісів регіону.

За даними платформи Global Forest Watch [2], в Україні спостерігається стійка тенденція до зменшення лісовкритих площ, хоча з 2017 р. темпи цього процесу дещо знизились. Це можна пояснити екологізацією та модернізацією лісової галузі внаслідок зближення України з країнами Західної Європи в контексті екологічної політики. Однак проблема скорочення лісових площ зберігається в регіонах Українського Полісся, де Житомирська, Рівненська, Київська, Волинська та Чернігівська обл. займають лідируючі позиції за рівнем втрати лісовкритих територій у період з 2001–2021 рр. Дослідження [3] вказують, що обсяги лісозаготівлі в Україні стійко перевищують темпи лісовідновлення. Зокрема, в Житомирській обл. показник втрати лісовкритих площ за досліджуваний період істотно перевищує середній по країні.

За даними European Forest Fire Information System (EFFIS) [4], з початку повномасштабного російського вторгнення

площа лісів, що згоріли внаслідок пожеж, значно збільшилась, причому пік припав на 2024 р. Портал Global Wildfire Information System (GWIS) [5] відзначає, що в 2024 р. Україна була серед лідерів за площами лісових пожеж серед країн Європи, а в середньому за 2022–2023 рр. займала перше місце як за кількістю пожеж, так і за їх площею.

Вивчення перспектив розвитку лісгосподарської галузі представлено в [6], де обґрунтовано необхідність імплементації міжнародних стратегій та заходів, зокрема «Інструменту щодо лісів» ООН (United Nations Forest Instrument, UNFI), який формулює серію узгоджених підходів на міжнародному й національному рівнях. Дослідження [8] аналізує операційний план реалізації Державної стратегії управління лісами України до 2035 р., що передбачає оптимізацію структури державних лісгосподарських підприємств, стимулювання лісорозведення та впровадження нових правил проведення рубок.

Багато уваги приділено вивченню та дослідженню кластерного підходу до організації лісгосподарської діяльності. Як зазначено в [6; 8], в умовах ринкової економіки кластеризація виробництва має низьку беззаперечних переваг перед іншими об'єднаннями виробників за рахунок можливості збереження юридичної автономії учасників. Дослідження [3] підтверджують, що найбільший потенціал для створення лісовиробничих кластерів має саме територія Полісся, зокрема Житомирська, Київська, Рівненська та Волинська обл.

Аналіз [9] відзначає особливу важливість лісової галузі в декількох аспектах: позитивний вплив лісів на довкілля, мікро- та макрокліматичні показники, а також створення сприятливих умов для життєдіяльності суспільства. Це підтверджує ключову роль реабілітації лісових екосистем для збалансованого розвитку радіоактивно забруднених територій Українського Полісся.

Згідно з результатами досліджень Користин О. та співавт. [10] щодо ризиків у лісовому господарстві встановлено, що по-

ступове зменшення вразливості лісового сектору на 20% може знизити ризик неконтрольованої вирубки лісів із червоного рівня загрози (63,07%) до помаранчевого (52,62%), а на 40% — до жовтого (41,3%). До того ж зазначено, що застосування ризик-орієнтованого підходу, поєднаного з детальним аналізом і пошуком оптимальних залежностей, сприяє ухваленню обґрунтованих управлінських рішень та ефективному плануванню заходів для мінімізації ризиків у сфері лісового господарства.

Міжнародне дослідження (Daiyoub A., Gelabert P.) [11] аналізує вплив збройного конфлікту на втрату лісового покриву на прикладі Сирії, використовуючи методи дистанційного зондування та машинного навчання. Автори встановили, що війна спричинила загальну втрату 19,3% лісів через прямі чинники, такі як артилерійські обстріли, бомбардування та використання деревини переміщеними особами, а також опосередковані чинники, зокрема зростання бідності та відсутність контролю за вирубкою. Дослідження підкреслює необхідність розробки стратегій післявоєнного відновлення лісів, запровадження альтернативних джерел енергії та посилення охорони лісових ресурсів.

Отже, аналіз публікацій свідчить про необхідність комплексного підходу до відновлення лісових екосистем регіону з урахуванням їх екологічного, економічного та соціального значення. Особлива увага приділяється необхідності екологізації та модернізації лісгосподарської діяльності, введенню інноваційних технологій моніторингу лісів та кластерному підходу до організації виробництва.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відповідно до поставленої мети було використано теоретичну базу дослідження вітчизняних і зарубіжних учених у сферах охорони навколишнього природного середовища, а також управління лісгосподарським виробництвом, зокрема С.В. Зібцева, М.П. Войнаренко, N.M. Kishor. Також застосовано економіко-статистич-

ний (оброблення статистичних даних); кореляційно-регресійний аналіз; абстрактно-логічний (теоретичні узагальнення та формування висновків) методи досліджень.

Теоретично-інформаційною основою дослідження також були звіти Державного агентства лісових ресурсів України, законодавчі й нормативні акти України та Європейського Союзу, дані платформ Global Forest Watch (GFW) [2], European Forest Fire Information System (EFFIS) [4] і Global Wildfire Information System (GWIS) [5].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Сучасний стан лісових екосистем Українського Полісся. Аналіз сучасного стану лісових екосистем Українського Полісся свідчить про їх критичну роль у забезпеченні екологічного балансу регіону та особливо у підтримці бар'єрних функцій на радіоактивно забруднених територіях. Ліси регіону не лише виконують важливі екологічні функції з регулювання клімату, збалансування водних ресурсів та збереження біорізноманіття, але й становлять основу економічного розвитку Полісся як джерело деревини та інших ресурсів.

Дослідження динаміки змін лісового покриву за даними платформи Global Forest Watch [2] демонструє стійку тенденцію до зменшення лісовкритих площ в Україні. Хоча з 2017 р. можна спостерігати певне зниження темпів скорочення лісового покриву, що пояснюється започаткуванням процесів екологізації та модернізації лісової галузі внаслідок зближення України з країнами Західної Європи в контексті екологічної політики.

Особливу тривогу викликає стан лісів у регіонах Українського Полісся. За період з 2001 по 2021 рр. саме Житомирська, Рівненська, Київська, Волинська і Чернігівська обл. стали лідерами за втратою лісовкритих площ, причому перші чотири з них забезпечили 52% втрати лісового покриву всієї країни. Зокрема, Житомирщина за цей період втратила 228 тис. га лісу, що в

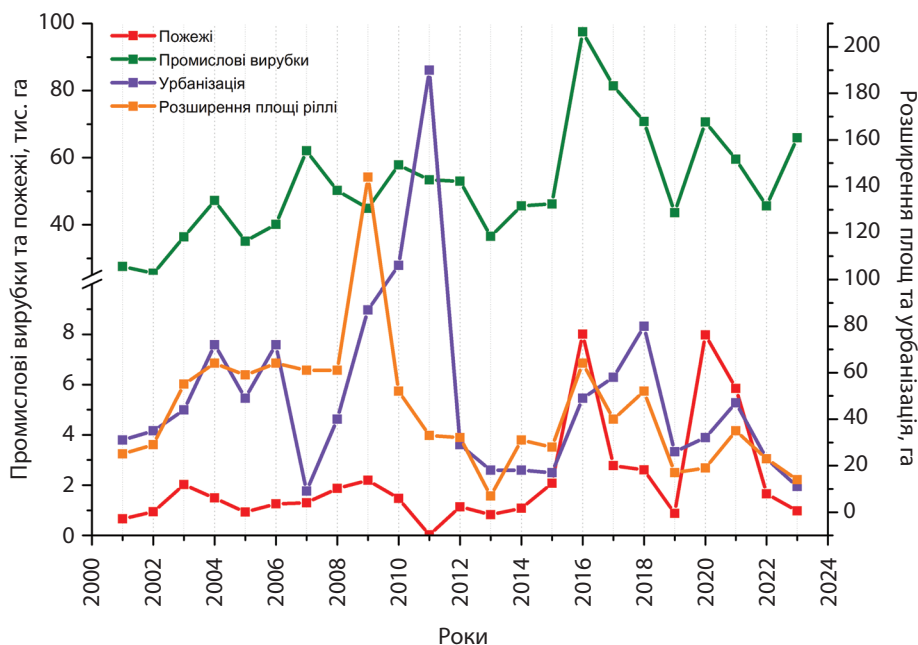


Рис. 1. Щорічна втрата лісовкритих площ України внаслідок дії домінуючих чинників, 2001–2023 рр.

понад п'ять разів перевищує середній по країні показник (42,6 тис. га).

Згідно з даними Global Forest Watch, з 2001 р. переважаючою причиною зменшення лісовкритих площ в Україні є вирубка лісу (рис. 1).

Дослідження засвідчують [3], що обсяги лісозаготівлі стійко перевищують темпи лісовідновлення, створюючи дисбаланс у лісокористуванні.

Вплив воєнних дій на стан лісових екосистем. Повномасштабна російська військова агресія проти України завдала катастрофічних збитків лісовій галузі. За даними European Forest Fire Information System (EFFIS) [4], з початком війни площа лісів, що згоріли внаслідок пожеж, істотно зросла, причому пік припав на 2024 р. — було зафіксовано 5269 пожеж загальною площею 916784 га (рис. 2).

Аналіз даних порталу Global Wildfire Information System (GWIS) [5] показує, що Україна в 2024 р. була серед лідерів за площами лісових пожеж серед країн

Європи, а в середньому за 2022–2023 рр. займала перше місце як за кількістю лісових пожеж, так і за їх площею зі значним відривом від решти країн континенту (рис. 3, а). На регіональному рівні найбільше пожеж за площею було зафіксовано в Кіровоградській, Дніпропетровській, Донецькій і Полтавській обл., тоді як Житомир-

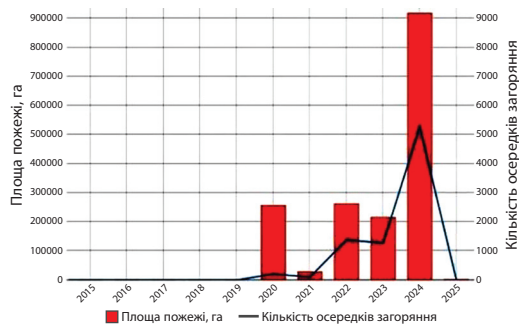


Рис. 2. Динаміка лісових пожеж та площ їхнього охоплення в Україні, 2015–2025 (лютий) рр. [4]

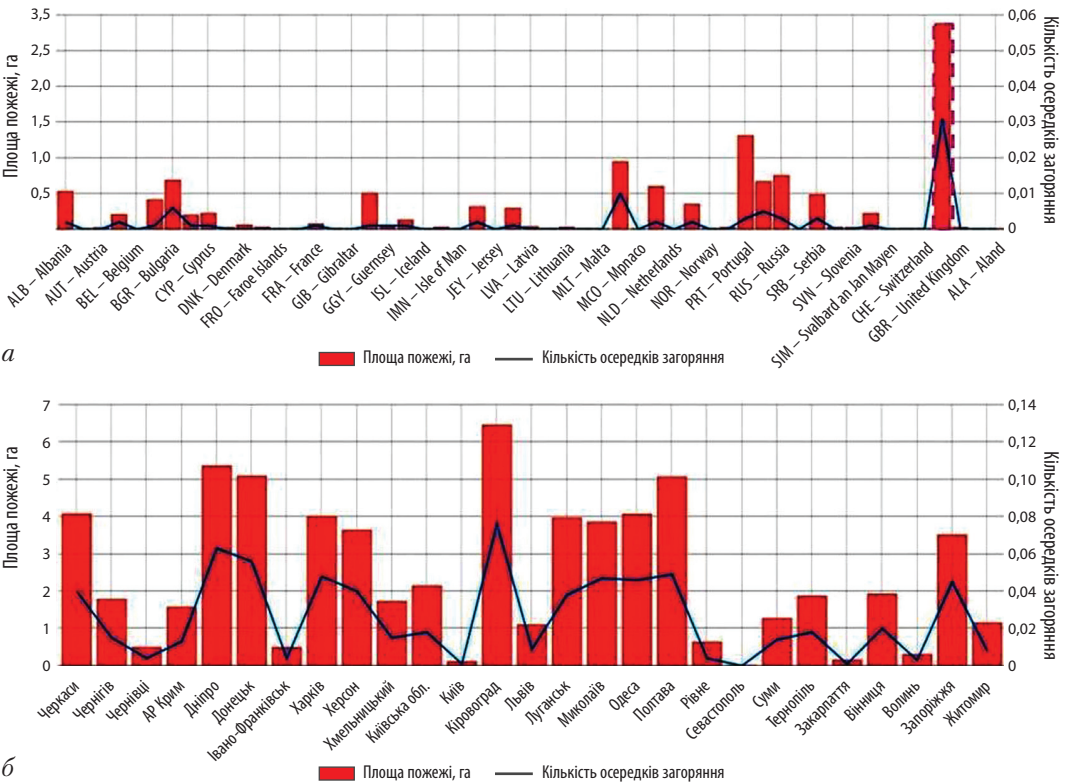


Рис. 3. Середня площа пожежі та кількість осередків займання в країнах Європи (а) і областях України (б), 2022–2023 рр.

ська, Київська та Чернігівська обл. мали проміжні показники (рис. 3, б).

Варто зазначити, що дані про лісові пожежі на різних моніторингових платформах відрізняються. Так, за даними GFW, у 2022 р. кількість лісових пожеж в Україні не перевищувала середньорічний показник (рис. 4). Ця розбіжність пояснюється методологічними відмінностями: GFW не використовує детальний аналіз меж пожеж, враховує лише теплові аномалії, а не підтверджені пожежі, та не коригує дані на основі наземних спостережень і моделей поширення вогню. Тому для точніших оцінок пожеж для України доцільніше використовувати дані EFFIS та GWIS.

Застосування сучасних математичних методів аналізу даних, як-от у дослідженні [13], дає можливість глибше проаналізувати втрати лісових екосистем за різними чинниками, зокрема внаслідок воєнних

дій. Так, за допомогою методів машинного навчання було оцінено втрату лісового покриву в Україні під час війни впродовж 2022–2023 рр., використовуючи супутникові знімки та алгоритм машинного навчання Random Forest. Автори [13] встановили, що загальна втрата лісів у 2022 та 2023 рр. становила 807,56 км² і 771,81 км² відповідно, до того ж найпостраждалішими регіонами стали Донецька, Харківська, Херсонська, Київська та Луганська обл. Утрата лісів у зонах бойових дій сягала 65,8% від загальної втрати в країні, що підтверджує прямий зв'язок між війною та знищенням лісових екосистем.

На сьогодні під окупацією перебуває 42 державних підприємства лісової галузі, 600 тис. га лісів із приблизно 10,5 млн га загального фонду. За попередніми розрахунками, прямі збитки від воєнних дій становлять 13,2 млн грн. Однак існують і так

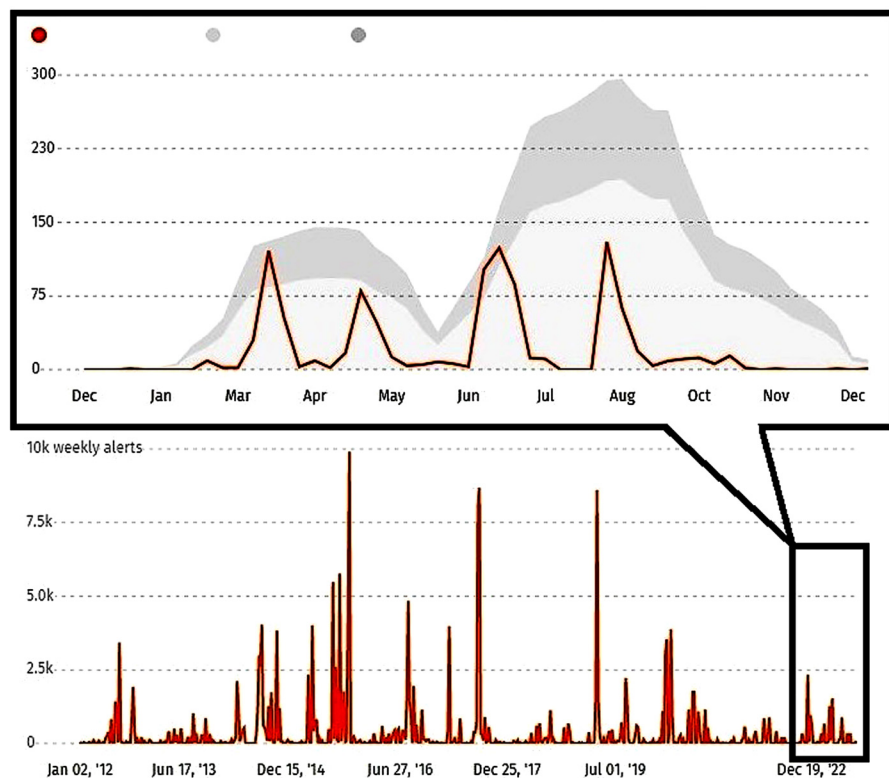


Рис. 4. Пожежі на території України, 2012–2022 рр.

Примітки: 1 — кількість пожеж у 2022 р.; 2 — середньостатистичний показник; 3 — вище середнього.

звані віддалені збитки, оцінювання яких ускладнене невирішеністю питань деокупації територій та їх демінування.

Стратегії відновлення лісових екосистем. Незважаючи на складну ситуацію, 2021 р. став найуспішнішим для лісової галузі України за останні 30 років. Площі лісових пожеж було зменшено у 259 разів завдяки впровадженню системи постійного дистанційного онлайн-моніторингу. Завдяки програмі «Зелена країна» коефіцієнт відновлення лісу був найвищим за попередні п'ять років. Навіть за воєнних умов у регіонах, де не відбувались бойові дії, навесні 2022 р. було висаджено понад 100 млн дерев.

Відповідно до операційного плану реалізації у 2022–2024 рр. Державної стратегії управління лісами України до 2035 р. [6], упродовж 2022 р. було оптимізовано

структуру державних лісгосподарських підприємств, ухвалено закон щодо стимулювання лісорозведення та нові правила проведення рубок у лісах України. Також заплановано передати під лісорозведення не менше ніж 100 тис. га ділянок, сертифікувати не менше ніж 10 підприємств за системою PEFC та 50 по FSC, посилити цифровізацію галузі.

Загалом Стратегія окреслює загальний підхід щодо екологічно збалансованої політики управління лісами та сприяє впровадженню Цілей сталого розвитку до 2030 р. та інших міжнародних зобов'язань, а також «Інструменту щодо лісів» ООН (United Nations Forest Instrument, UNFI) [6].

Кластерний підхід до відновлення лісової галузі. Однією з найперспективніших стратегій відновлення лісової галузі є формування виробничих кластерів. Світовий

досвід підтверджує, що кластерний підхід є ефективним способом підвищення конкурентоспроможності як регіональних, так і національних економік. Наразі кластеризацією охоплено понад 50% економіки провідних країн світу [6].

В умовах ринкової економіки кластеризація виробництва має низку переваг перед іншими об'єднаннями виробників за рахунок можливості для кожного добровільного учасника зберігати юридичну автономію [8]. Водночас в Україні процес кластеризації лісгосподарської галузі ускладнений централізованою системою управління. Це обмежує можливості для створення гнучких регіональних кластерів, зменшує конкуренцію та уповільнює впровадження інновацій. Утворення кластерів сприятиме зростанню ефективності лісгосподарських підприємств та впровадженню в їх діяльність принципів зеленого зростання шляхом введення інновацій, залучення інвестицій, налагодження збуту та постачання, а також обміну інформацією.

Відповідно до результатів аналізу перспектив створення та розвитку нових лісовиробничих кластерів, найбільший потенціал має саме Полісся — Житомирська, Київська, Рівненська і Волинська обл. є найбільш виробничо-ефективними [3].

Створення лісовиробничого кластера в Поліському регіоні України потребуватиме не лише координації виробничих потужностей, а й певних управлінських реформ, спрямованих на підвищення автономії регіональних підприємств. Лише за умов забезпечення достатньої гнучкості управління можна досягти оптимального розподілу фінансових ресурсів для поширення інноваційних та еколого-безпечних технологій.

Для повноцінного функціонування лісовиробничого кластера на території Українського Полісся він має включати, крім безпосередньо виробничих потужностей, наукові, дорадницькі та логістичні організації та установи, заклади вищої освіти, а також інші юридичні об'єкти, непрямо пов'язані з лісгосподарською галуззю, зокрема сферу послуг. До того ж важливим

аспектом є розвиток державно-приватного партнерства, яке дасть змогу залучити додаткові інвестиції, компенсуючи обмеження, пов'язані з централізованим управлінням лісовим сектором.

Комплексність і багатоплановість лісових екосистем Українського Полісся як джерела значної кількості екосистемних послуг робить їх реабілітацію невід'ємною частиною стратегії відродження території регіону, що постраждала внаслідок аварії на ЧАЕС та виявилася особливо вразливою до наслідків повномасштабної військової агресії.

ВИСНОВКИ

Доведено, що реабілітація лісових екосистем є необхідним елементом збалансованого розвитку агроландшафтів радіоактивно забруднених територій Українського Полісся, оскільки лісгосподарська галузь є одним із основних секторів економіки регіону. Показано, що екологізація та модернізація лісової галузі в 2021 р. дала можливість зменшити площі лісових пожеж у 259 разів завдяки впровадженню постійного дистанційного онлайн-моніторингу.

Запропоновано інноваційний підхід до відновлення лісових екосистем регіону шляхом кластеризації лісгосподарської галузі, що забезпечить збалансування економічної, соціальної та екологічної складових розвитку. Найбільший потенціал для створення лісовиробничих кластерів мають Житомирська, Київська, Рівненська і Волинська обл., які характеризуються високою виробничою ефективністю. Водночас, кластеризація лісової галузі України потребує вирішення проблеми централізованого управління, яке обмежує гнучкість створення ефективних регіональних кластерів та впровадження інновацій.

Обґрунтовано, що відновлення лісових екосистем має комплексний характер і має бути інтегроване в загальну стратегію відродження територій, постраждалих унаслідок аварії на ЧАЕС. Лісовиробничий кластер Українського Полісся має включати не лише виробничі потужності, але й наукові, дорадницькі та логістичні організації, зак-

лади вищої освіти та сферу послуг, забезпечуючи системний підхід до реабілітації лісових екосистем. Ураховуючи специфіку централізованої структури управління лісовим господарством в Україні, важливим аспектом є створення механізмів, що дають можливість інтегрувати державні та

приватні інтереси в рамках одного кластера. Це дасть змогу не лише поліпшити координацію на місцевому рівні, а й стимулювати інноваційні підходи до управління лісами та залучити інвестиції, необхідні для модернізації галузі та впровадження екологічно безпечних технологій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зібцев, С. В., Сошенський, О. М., Голдаммер, Й. Г., Миронюк, В. В., Борсук, О. А., Гуменюк, В. В., ... Букша, І. Ф. (2022). *Лісоуправління на територіях, забруднених вибухонебезпечними предметами*. WWF-Україна.
2. Forest Monitoring Designed for Action. Global forest watch. Retrieved from <https://www.globalforestwatch.org/>.
3. Furdychko, O., Drebot, O., Vysochanska, M., Yaremko, O., Raichuk, L., Symochko, L., Sakharnatska, L., Shvydenko, I., & Bondar, V. (2022). Forestry of Ukraine: problems and way of solutions. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJES)*, 12(3), 365–378. DOI: <https://doi.org/10.31407/ijees.12.346>.
4. EFFIS Annual Statistics for Ukraine. European Forest Fire Information System (EFFIS). Retrieved from <https://effis.jrc.ec.europa.eu/>.
5. Global Wildfire Information System (GWIS). Retrieved from <https://gwis.jrc.ec.europa.eu/>.
6. Войнаренко, М., & Береза, А. (2013). Кластерні об'єднання: міжнародний досвід та українські реалії. *Економіст*, (10), 27–30. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/econ_2013_10_7.
7. Про схвалення Державної стратегії управління лісами України до 2035 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 1777-р. (2021). (Україна). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1777-2021-%D1%80#n369>.
8. Соколенко, С. І. (2012). Ринкова економіка на основі виробничих кластерів. Інститут підвищення кваліфікації керівних кадрів Національної академії державного управління при Президен-
- тові України. URL: <https://ucluster.org/blog/2012/04/rinkova-ekonomika-na-osnovi-virobnichikh-klasteriv/>.
9. Про Загальнодержавну програму адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу. Закон України (2018). (Україна). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1629-15#Text>.
10. Korystin, O., Tsiupryk, I., & Nikolaiev, O. (2024). Forecasting the Risks of Uncontrolled Deforestation in Ukraine. *Baltic Journal of Economic Studies*, 10(4), 261–270. DOI: <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2024-10-4-261-270>.
11. Daiyoub, A., Gelabert, P., Saura-Mas, S., & Vega-Garcia, C. (2023). War and Deforestation: Using Remote Sensing and Machine Learning to Identify the War-Induced Deforestation in Syria 2010–2019. *Land*, 12(8), 1509. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12081509>.
12. Мішенін, Є., Ярова, І., Золочевський, В., Назаренко, М., & Богомолова, К. (2021). Економічна оцінка еколого-соціальних функцій лісових ресурсів в системі сталого просторового лісогосподарювання. *Mechanism of an economic regulation*, 1(91), 70–91. DOI: <https://doi.org/10.21272/mer.2021.91.06>.
13. Cazzolla Gatti, R., Cortès Lobos, R. B., Torresani, M., & Rocchini, D. (2025). An Early Warning System Based on Machine Learning Detects Huge Forest Loss in Ukraine During the War. *Global Ecology and Conservation*, 58, e03427. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2025.e03427>.

Стаття надійшла до редакції журналу 03.01.2025

**ВИДИ РОСЛИН БОТАНІЧНИХ САДІВ УКРАЇНИ
ЗА МАТЕРІАЛАМИ ІСТОРИЧНИХ КОЛЕКЦІЙ ГЕРБАРІЮ
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ І.І. МЕЧНИКОВА (MSUD)**

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

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова (м. Одеса, Україна)

e-mail: vseobovse123@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2383-6615

e-mail: bio_july@hotmail.com; ORCID: 0000-0002-7046-958X

e-mail: fairushinev94@gmail.com; ORCID: 0009-0007-1744-6569

Ботанічні сади завжди були базисом для широкого спектра наукових досліджень. Одним з історичних свідчень подібних експериментів є гербарні зразки видів рослин, що колись вирощували на ділянках ботсадів. Метою наших досліджень був пошук у історичних колекціях MSUD гербарних аркушів (надалі г.а.) з рослинами, зібраними з території ботанічних садів України. Історичні колекції часто є унікальними; вони, уособлюючи наукові уподобання автора, у певному часовому проміжку, особливо за умов великої кількості зразків, часто є багатofункціональними, забезпечуючи базис і для сучасних наукових робіт. Досліджували матеріали п'яти історичних колекцій MSUD. Виявлено 281 гербарний аркуш з 185 видами та 50 формами (варієтетами) зі 106 родів та 36 родин. Колектором більшості г.а. є Я. Вальц (професор, що свого часу працював у Київському Імператорському університеті): 246 аркушів для 221 виду. Збори зроблено з 1860 по 1870 рр. (з 1871 р. Я. Вальц працював в Одесі). М.М. Зеленецького ідентифіковано колектором 25 г.а. (21 вид із 18 родів). Рослини, зібрані у Нікітському ботанічному саду, датовані переважно 1909 р. Відмічено збори В. Ф. Пастернацької (чотири г.а. з Нікітського ботанічного саду, 1923 р.); М. К. Срединського (три г.а. з Нікітського ботанічного саду, 1872 р.); J. Schrenk (*Picea schrenkiana* Fisch. & С.А.Мей.). За кількістю гербарних аркушів переважають рослини з родин Poaceae (62 г.а.; 12 видів; 7 родів; проте — 38 форм і варієтетів); Fabaceae (63; 56; 23; 3); Ranunculaceae (17; 13; 6; 3); Brassicaceae (16; 16; 13; —); Pinaceae (13; 9; 4; 1) та ін. Найбільшою кількістю гербарних аркушів представлені: *Panicum miliaceum* L. (чотирьох); *Lathyrus sativus* L., *Ribes alpinum* L., *Linum usitatissimum* L., *Papaver orientale* L., *Setaria italica* (L.) P.Beauv., *Triticum vulgare* L. v *aristatum album*, *Sequoia gigantea* (Lindl.) Torr. ex A.Gray. (по три г.а.).

Ключові слова: культивовані рослини, гербарні колекції, Україна.

ВСТУП

Виникнення ботанічних садів стало актуальним зі збільшенням потоку флористичного матеріалу, який потрапив до Європи у часи відкриття нових територій. З того часу функціонал ботанічних садів істотно розширився. Не лише вирощування і демонстрація нових видів, але й масштабні наукові дослідження: від вивчення процесів адаптації, акліматизації, натуралізації нових видів, до забезпечення попиту місцевого населення на рослини з різними господарськими характеристиками, і, звичайно, підтримання та збереження, на нау-

кових засадах, світового генофонду різних видів. Останнім часом у світовій практиці актуальності набуває природоохоронна функція ботанічних садів як ланок екологічного туризму [1].

Розвиток гербарної справи — також важливе підґрунтя для вирішення широкого діапазону завдань природничого напрямку. Часто, особливості формування гербаріїв (або окремих колекцій), різних за масштабами, пов'язані з можливостями, уподобаннями, науковим спрямуванням колекторів неоднакового професійного рівня. Нині у гербаріях України, за деякими дослідженнями, наявно до 4 359925 од. зберігання [2].

© О.Ю. Бондаренко, Ю.С. Назарчук,
Є.Д. Файрушин, 2025

Мета роботи — виявити види рослин у історичних колекціях MSUD, які свого часу було зібрано з територій ботанічних садів України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Гербарій Одеського національного університету імені І.І. Мечникова, започатковано в 1865 р., одночасно із заснуванням, власне, університету. Базисом фондів стали гербарні колекції Рішельєвського ліцею. Відтоді матеріали гербарію університету активно поповнювали багато видатних науковців як регіональних, так і представників інших країн. Нині гербарій містить й історичні іменні колекції (з різним об'ємом гербарних зразків), і сучасні матеріали [2]. Історичні колекції свого часу активно досліджували співробітники гербарію: С.Г. Коваленко, Т.В. Васильєва, В.В. Немерцалов та ін. [3]. На основі таких колекцій, де представлені види з широкого спектра локацій можна певною мірою аналізувати темпи змін ландшафтів (особливо Одеського регіону, як одного з найбільш трансформованих на півдні України). Такі роботи можуть стати базисом для значного обсягу наукових публікацій, як показали, зокрема, дослідження О.Ю. Бондаренко та Ю.С. Назарчук [4].

Цінність історичних колекцій, у науковому плані, не зважаючи на давність проведених досліджень, залишається вагомою для розв'язання багатьох ботанічних питань сучасності [5].

Як правило, на територіях ботанічних садів здійснюються цікаві наукові досліді, часто з вивчення особливостей вирощування нових для регіонів видів. Неодноразово до цього залучені як початківці, так і науковці зі світовими іменами [6]. В історичному аспекті особливості вирощування окремих видів, що є рідкісними (*Ginkgo biloba* L.), або інвазійними (*Robinia pseudoacacia* L., *Gleditsia triacanthos* L. та ін.) — є актуальні та містять новизну. Інформація щодо рослин, культивованих у ботанічному саду ОНУ імені І.І. Мечникова (м. Одеса), за матеріалами історичних

колекцій MSUD, представлена в іншій нашій публікації [7].

Значна кількість екземплярів рослин, поданих у цій роботі, були зібрані на території нинішнього ботанічного саду імені О.В. Фоміна. Він створений у 1839 р. для навчальних цілей Імператорського Київського університету. З моменту започаткування цей ботанічний сад був базисом для вирощування та поширення плодових, декоративних, лікарських видів рослин [8].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналізовано чотири історичні колекції MSUD: Е.Е. Ліндемана (у конспекті видів — цифра IV), Й.К. Пачоського (III), колекція Новоросійського університету (надалі Н.У.Н.Р.) (II), колекція Вищих Жіночих Педагогічних Курсів (I) [7].

Критерієм відбору були написи на гербарній етикетці: «Bot. hortum», «ботанічний сад» (у різних скороченнях). Гербарні аркуші зібрані обмеженою кількістю авторів. Серед них:

В.Ф. Пастернацька закінчила Вищі жіночі педагогічні курси в м. Одеса і у подальшому працювала (1919–1923 рр.) на кафедрі морфології і систематики рослин в університеті (нині ОНУ імені І.І. Мечникова). Потім — завідувачка кафедри ботаніки Одеського фармацевтичного університету. Певний час працювала під керівництвом проф. М.М. Зеленецького [9].

Професор М.М. Зеленецький (1859–1923) — завідувач кафедри морфології та систематики рослин, деякий час паралельно очолював Ботанічний сад Одеського університету (нині ОНУ). Змолоду відвідував лекції у деяких університетах Європи. В 1906 р. захистив магістерську дисертацію щодо флори Криму [9].

М.К. Срединський, як професорський стипендіат із ботаніки, вивчав вищі рослини, гриби, водорості Південно-Західної частини України (території нинішніх Одеської, Миколаївської, Херсонської обл.) [9].

Я.Я. Вальц (1841–1904), закінчив Київський університет, працював у лабо-

раторіях Європи, був екстраординарним професором кафедри ботаніки Київського університету, президентом Київського товариства природознавців [9].

Номенклатурні назви видів наведено за [10]. Якщо вид ідентифіковано за [11] — перед назвою виду стоїть знак «*». Якщо вид не вдалося ідентифікувати за цими базами — перед назвою виду або форми стоїть знак «!» [7].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Віднайдено 281 гербарний аркуш (надалі г.а.), які презентують 185 видів, 106 родів та 36 родин. Також наявні 50 форм (варієтетів).

Більшість г.а. — 87,55%, відносимо до авторства Я.Я. Вальца (246 аркушів з 221 виду та 171 роду). Найчастіше зустрічаються такі написи на гербарних етикетках: «Hort. Botan. Kioviensis. 1870. J. Walz» або «Київ, бот. сад. 1870. J. Walz» — таких 56 г.а. (51 вид); «Hort. Botan. Kiovensis / Київ, бот. сад. 1866. J. Walz» — їх 64 г.а. (50 видів з 19 родів); «Kiew. Hort. Bot. 1869. J. Walz» або «Hort. Botan. Kioviensis» або «Київ, бот. сад. 1869. Prof. J. Walz» — 81 г.а. (77 видів з 72 родів). Представлено також збори від 1859, 1860, 1862, 1867 та ін. рр. Інколи прізвище Я.Я. Вальца не вказано на етикетці, проте збігався почерк, додатково — роки зборів. Для гербарних аркушів Я.Я. Вальца часто вказано звідкіля було взято насіння (Warschau, Munchen та ін.).

За авторства М.М. Зеленецького ідентифіковано 25 г.а.: 21 вид з 18 родів. Переважна більшість підписів до етикеток є такою: «1909. Крим. Нікітський сад» — 22 г.а. для 18 видів з 15 родів. Деякі етикетки не мали авторства. Однак характерний почерк (а також рік та локація зборів) збігався з такими: «1909. Крим. Нікітський сад. Det. М. Зеленецький» (1 г.а.; 1 вид; 1 рід); «Крим. Нікітський сад. III. 1909. Зібр. і визн. М. Зеленецький» (1; 1; 1); «Крим. Нікітський сад. VI/1885. N. Zelenetsky. Flora Taurica» (1; 1; 1).

Лише чотири г.а. (чотири види; чотири роди) представлені рослини В. Ф. Пастер-

нацької. Напис є таким: «Крим. Нікітський сад. Липень 1923 р. Leg., det. В. Пастернацька».

За авторства М.К. Срединського представлено три г.а. (трьох видів з трьох родів) з написами: «Нікітський бот. сад. 1872. [Sredinsky]». А також: «в Нікіт. бот. саду. E Herb. Sredinsky».

Нами також враховано один гербарний аркуш за авторства J. Schrenk (*Picea schrenkiana* Fisch. & C.A.Mey.).

Цікавим є ще один гербарний аркуш із таким написом на етикетці: «Tauria. Hort. Bot. Nikit. 1833. Steven / Nordmann». Встановити конкретне авторство збору рослини з цього г.а. важко. Відомо, що О. Нордман (із 1834 р. директор ботанічного саду у м. Одеса), разом із Х. Стевеном (свого часу директор Нікітського ботанічного саду), в 1833 р. здійснив подорож по кримському Причорномор'ю [12].

Нижче наведено конспект видів (форм, варієтетів), які, за матеріалами MSUD, зібрані у ботанічних садах України. Як і у нашій попередній публікації [7] прийнято переважно такий порядок (скорочення на етикетці — збережені): загальноприйнята назва виду [10; 11]. Позначення колекції, в якій виявлено екземпляр виду (I, II тощо). Назва виду вказана у колекції (якщо вона різнить від сучасної). Порядковий номер гербарного аркуша у колекції. Позначення локації. Дата збору (якщо є). Колектор (якщо є).

Aceraceae

Acer pseudoplatanus L. III. *A. pseudo-Platanus* L.: № 3640. Бот. сад. 9.09.1859. [J. Walz].

Apiceae

Orlaya daucoides (L.) Greuter. III. *O. plarycarpos* (L.) W.D.J.Koch: № 3978. Kiew. Hort. Bot. 7.07.1869, in arvis a Sallia ad Tauriana. J. Walz.

Asteraceae

**Actinella californica* Benth. & Hook. III. *Actinella* = *Hymenoxis californica* Hook.: № 5548. Hort. Bot. Kiew. [...] 07.1869. J. Walz. Munchen.1869.

!*Carduus cernuus* L. III: № 5793. Hort. Bot. Kiew. J. Walz.

! *Rudbeckia moschata* Hort. III: № 5532. Hort. Bot. Kiew. 4.07.1864. J. Walz.

Brassicaceae

Alyssum calycinum L. II: № 6110. Kiew. Бот. сад. 22.IV.1862. Як. Вальц.

Brassica juncea (L.) Czern. III: № 2403. Hort. Botan. Kiovensis. 23.07.1869. J. Walz.

Brassica napus L. III: № 2405. Hort. Botan. Kiovensis. Посаджено 21.04., зібр. 24.06.1866. J. Walz.

Camelina sativa (L.) Crantz. III: № 2497. Київ, бот. сад, посаджено 21.04., зібр. 24.06.1866. Я. Вальц.

* *Cochlearia acaulis* Desf. III: № 2283. Hort. Botan. Kioviensis. 10.07.1864. J. Walz.

Draba nemorosa L. II: № 5898. Бот. сад. 7.IV.1862. Я. Вальц.

Erophila verna (L.) Besser. III: № 2530. Київський бот. сад. 6.04.1861. Walz.

Lepidium sativum L. III: № 2258. Broder. Hort. Botan. Kioviensis. Посаджено 20.04., зібр. 19.07.1866. Як. Вальц.

! *Ochrodium aegyptiacum* DC. III: № 2259. Hort. Botan. Kioviensis. In Aegypto et Syria. 30.06.1870. J. Walz.

Raphanus sativus L. III: № 2417. Hort. Botan. Kiew. Посаджено 21.04., зібр. 24.06.1866. Walz.

Rapistrum rugosum (L.) Bergeret. III: № 2424. Hort. Botan. Kiew. 5.06.1869. Walz.

* *Sinapis brassicata* L. III: № 2381. Hort. Botan. Kiew. 12.07.1869. J. Walz. In China.

Sinapis dissecta Lag. III: № 2384. Hort. Botan. Kiew. 5.06.1869. Hispania. J. Walz.

* *Sinapis pekinensis* Laur. III: № 2387. Hort. Bot. Kiowiensis. 30.05.1869. J. Walz.

* *Sisymbrium erysimoides* Desf. III: № 2300. Hort. Bot. Kioviensis. 4.06.1869. J. Walz.

Strigosella africana (L.) Botsch. III. *Malcolmia atricana* R.Br.: № 2654. Hort. Bot. Kiew. 4.06.1869. Walz. In arinosis Africae, Siciliae, Hispaliae etc.

Caesalpinaceae

Gleditsia triacanthos L. III. № 2944. Kiew. Hort. Bot. 7.06.1870. J. Walz.

Capparaceae

* *Polanisia graveolens* Raf. III. *P. graveolens* Rafin.: № 2221. Hort. Botan. Kioviensis. 10.07.1869. J. Walz.

Caryophyllaceae

! *Dianthus caucasicus* Sims. III: № 1607. Hort. Bot. Kiew. 27.05.1870. J. Walz.

! *Dianthus coclitrosa* Tenzl. III: № 1608. Kiew. H. Bot. 10.07.1869. J. Walz.

! *Dianthus moschatus*. III: № 1632. Kiew. Hort. Bot. 1.06.1870. J. Walz.

Dianthus pallidiflorus Ser. III: № 1636. Kiew. Hort. Bot. 2.06.1870. J. Walz.

Lychnis chalcidonica L. III: № 1549. Kiew. Hort. Botani. 18.06.1870. J. Walz.

Saponaria officinalis L. III. № 1805. *S. officinalis* L.: Kiew. H. Bot. 22.07.1864. J. Walz.

Spergula arvensis L. III: № 1765. Київ, бот. сад. Посаджено 21.04., зібр. 24.06.1866. Вальц.

! *Spergula arvensis* L. α *vulgaris* Koch. III: № 1768. Киев, бот. сад. Посаджено 21.04., зібрано 24.06.1866. Вальц.

!Cephalotaxaceae

! *Cephalotaxus Fortunei* Hook. I: № 129.2–3. III.1909. Крим. Нікітський сад.

Chenopodiaceae

Chenopodium glaucum L. III: № 1290. Kiew. Hort. Bot. 23.07.1869. Marburg. 1868. J. Walz.

Crassulaceae

* *Sedum latifolium* Bertol. III: № 2712. Kiew. H. Bot. 30.08.1869. In montibus Germaniae, Gallia, elvitiae etc. J. Walz.

Cupressaceae

Juniperus oxycedrus L. I: № 205.1. Крим. Нікітський сад. Липень 1923 р. Leg., det. В. Пастернацька.

Juniperus sabina L. I. *J. Sabina* L.: № 207.2. III.1909. Крим. Нікітський сад.

Juniperus virginiana L. I: № 208.9. III. 1909. Крим. Нікітський сад. Det. М. Зеленецький.

! *Thuja orientalis* L. var. *compacta*, *pyramidalis*. I. *Biota orientalis* Endl. var. *compacta* Hort.: № 185.9. III.1909. Крим. Нікітський сад. [М.Зеленецький].

Dipsacaceae

! *Cephalaria centauroides* Coult. III: № 5288. Kiew Hort. Bot. 23.08.1869. J. Walz. In [muntanis collineae upricii] Europ. austr. et orientalis et Sibiriae.

Ericaceae

Arbutus unedo L. III: № 4166. Нікітський бот. сад. 26.03.1872. [Sredinsky].

Euphorbiaceae

Euphorbia virgata Waldst. & Kit. II: № 9458. Kiew Hort. Bot. 28.V.1870. [(in pratis ad

vias — Zitturalis, Stegum, destrict, Mähren n. Böhmen)]. J. Walz.

Fabaceae

Acacia melanoxylon R. Br. 1810. III. *A. sophorae* R.Br.: № 2939. Kiew. Hort. Bot. 9.04. 1870. J. Walz.

Astragalus cicer L. II: № 8516. Hort. Bot. Kiew. (In Europa collibus, in Berberia, Tauria, Sibiria et Amuria bor.) 23–24/VI.1870. J. Walz.

**Astragalus falcatus* Lam. III: № 3225. Kiew. Hort. Botan. 29.05.1870. J. Walz.

**Astragalus maximus* Willd. III. *A. maximus* W.: № 3231. Kiew. Hort. Bot. 24.06.1870. In Armenia. J. Walz.

**Astragalus nigrescens* Pall. III: № 3232. Kiew. Hort. Bot. 24.06.1870. J. Walz.

Astragalus ponticus Pall. III: № 3242. Kiew. Hort. Bot. 23.06.1870. In Tauria et Bessarabia. J. Walz.

**Baptisia australis* R.Br. III: № 2949. Kiew. Hort. Bot. 3.06./31.07.1869. Carolina iccid. J. Walz.

**Biserrula pelecinus* L. III: № 3281. Kiew. Hort. Bot. 4.08.1869. In Europa Austral et Orientale. Marburg. [Walz].

**Coronilla iberica* M. Bieb. III. *C. iberica* MB.: № 3295. Kiew. Hort. Bot. In Iberia et Capadacia. 29.05.1870. J. Walz.

**Cytisus biflorus* L'Hér. III. *C. biflorus* Herit.: № 2975. Kiew. Hort. Bot. Sibirien. 7.06. 1870. J. Walz.

**Desmodium canadense* (L.) DC. III. *D. canadense* DC.: № 329. Hort. Botan. Kiew. 26.06.1870. In arenosis campis et sylvis America bor.

!*Desmodium canescens* DC. III: № 3331. Hort. Bot. Kiowensis. 26.07.1869. J. Walz.

!*Desmodium Dinella*. III: № 3332. Hort. Bot. Kiowensis. 26.06.1869. In silv. et agris Novborneo et Carolinam. J. Walz.

**Desmodium paniculatum* (L.) DC. III. *D. paniculatum* DC.: № 3333. Hort. Bot. Kiowensis. 26.06.1869. J. Walz.

**Dolichos angularis* Willd. III. *D. angularis* W.: № 3466. Cult. Hort. Bot. Kiew. 8.07.1870. J. Walz.

Galega officinalis L. III: № 3174. Kiew. H. Bot. 20.06.1870. J. Walz; in glareosis Eu [ropa], Tauria, Barbariae.

**Galega persica* Pers. III: № 3178. Kiew. H. Bot. 20.06.1870. In Persia. J. Walz.

**Orobis atropurpureus* Desf. III. *Lathyrus*

(*Orobis*) *atropurpureus* Desv.: № 3399. Cult. Kiew Hort. Bot. 11.07.1869. [] 1869. J. Walz.

Lathyrus niger (L.) Bernh. III: № 3414. Kiew H. Bot. 28.05.1870. J. Walz.

**Lathyrus ochrus* DC. III: № 3415. Cult. Kiew. H. Bot. 20.06.1870. In segetibus []. J. Walz.

**Lathyrus roseus* Steven. III. *L. roseus* Stev.: № 3425. У Нікіт. бот. саду, здичавіло, завезено Стевеном з Кавказу. Floret: травень–червень. Е Herb. Sredinsky.

Lathyrus rotundifolius Will. III: № 3428. Kiew H. Bot. 27.08.1869. In Tauria. J. Walz.

Lathyrus sativus L. III: № 3432. Kiew. Hort. Bot. 20.06.1870. In Hispany. J. Walz; № 3431. Kiew. Hort. Bot. Посаджено 21.04, зібр. 24.07.1866. J. Walz; № 3433. Cult. Kiew. Hort. Bot. Посаджено 21.04, зібр. 24.07.1866. [] J. Walz;

Lotus australis Ands. III: № 3152. Kiew. Hort. Bot. 28.08.1869. Warschau. 1969. J. Walz.

Lotus glaucus Ait. III: № 3162. Kiew. Hort. Bot. 3.08.1969. J. Walz. Warschau. 1869.

Lotus hispidus Desf. III: № 3163. Kiew. Hort. Bot. 29.07.1969. J. Walz. [Mirchen]. 1869.

Lotus ornithopodioides L. III: № 3164. Kiew. Hort. Bot. 10.07.1969. J. Walz. [Crucau]. 1869; Kiew. Hort. Bot. 26.06.1970. J. Walz. In Eur. austral. 1869.

!*Lupinus Blakeanus* Sw. III: № 2951. Cult. Kiew. Hort. Bot. 26.05.1870. J. Walz.

!*Lupinus grandiflorus* Lindl. III: № 2952. Cult. Kiew. Hort. Bot. 26.05.1870. J. Walz.

Medicago falcata L. aggr. III: № 3016. Kiew. 26.06.1870. Hort. Bot. in pratis siccis montanis Europae. Я. Вальц.

**Medicago intermedia* Schult. III. *M. intermedia* Schul.: № 3024. Hort. Bot., Kiew. 26.06.1870. J. Walz.

!*Onobrychis aequidantata* [d'Urville]. III: № 3318. Hort. Bot. Kiew. 10.07.1869. J. Walz.

Onobrychis gracilis Besser. III: № 3321. Hort. Bot. Kiew. []. 20.06.1870. J. Walz.

**Phaseolus angulosus* Ortega. III. *P. angulosus* Ort.: № Kiew. Hort. Bot. 15.07.1869. Leg. J. Walz.

!*Phaseolus aureus* Ham. III: № 3450. Cult. Hort. Bot. Kiew. 15.07.1869. Hamburg. J. Walz.

!*Phaseolus compressus* Lavi. III: № 3451. Kiew. Hort. Bot. 15.07.1869. J. Walz. Paris.

!*Phaseolus gonospermus* Lavi. III: № 3452.

- Cult. Kiew. H. Bot. 15.07.1869. J. Walz. Hamburg.
- ! *Phaseolus haematocarpus* Sav. III: № 3453. Cultus. Kiew. H. Bot. 15.07.1869. Regensburg. J. Walz.
- * *Phaseolus oblongus* Savi. III. *P. oblongus* Sav.: № 3454. Cultus. Kiew. Hort. Bot. 15.07.1869. Regensburg. J. Walz.
- ! *Phaseolus saponaceus* Savi. III: № 3455. Cultus. Kiew. Hort. Bot. 15.07.1869. Regensburg. J. Walz.
- * *Phaseolus sphaericus* Savi. III: № 3456. Cultus. Kiew. Hort. Bot. 15.07.1869. Hamburg. J. Walz.
- ! *Phaseolus tunkinensis* Sour. III: № 3457. Cultus. Kiew. Hort. Bot. 15.07.1869. J. Walz.
- ! *Phaseolus vulgaris* L. a). *communis*. III: № 3461–3462. Kiew. Hort. Bot. Посаджено 20.04., зібр. 19.06.1866. J. Walz.
- ! *Phaseolus vulgaris* L. ar *caffer*. III: № 3463. Kiew. Hort. Bot. 07.1869. J. Walz. Regensburg.
- ! *Phaseolus vulgaris* Savi. β *nanus*. III: № 3464. Kiew. Hort. Bot. Посаджено 21.04., зібр. 19.06.1866. J. Walz.
- ! *Phaseolus zebrinus* [Martinus]. III: № 3465. Kiew. Hort. Bot. 15.07.1969. J. Walz. Regensburg.
- * *Pisum Jomardi* Schrank. III: № 3448. Cultum. Kiew. Hort. Bot. [13].07.1869. Warsehan. J. Walz.
- Scorpiurus muricatus* L. (*S. subvillosus* L.). III. *S. subvillosus* L.: № 3289. Kiew. Hort. Bot. [J]. 20.06.1870. J. Walz.
- ! *Scorpiurus sulcata* L. (*S. muricata* L. 1753 β *sulcata* Lam. 1778; *S. echinata* β Lam. 1783; *S. sulcata* Mönch. 1794). III. *S. sulcata* L.: № 3290. Kiew. Hort. Bot. 10.07.1869. / 20.06.1870. In arvis [regianum mediterraneanum], [Craeam]. 1869. J. Walz.
- * *Sophora grandiflora* (Salisb.) Skottsb. III. *S. grandiflora* Salisb.: № 2947. Hort. Botan. Kiowiensis. 9.04.1870. In Nova Zulandia. J. Walz.
- * *Tetragonolobus maritimus* Roth. III. *T. maritimus* (L.) Roth. (*T. siliquosus* (L.) Roth, nom. illeg.): № 3165. Kiew. Hort. Bot. 29.05.1970. J. Walz. In pratis humidis [Europaeu].
- Trifolium diffusum* Ehrh. III: № 3087. Kiew. Hort. Bot. 29.05.1870. J. Walz.
- Trifolium resupinatum* L. III: № 3137. Kiew. Hort. Bot. 17.07.1869. J. Walz. In Europa [J] Marburg.
- Trigonella caerulea* (L.) Ser. III: № 2996. Київський бот. сад. Посаджено 21.04., зібр. 24.06.1866. Я. Вальц.
- ! *Trigonella eretica* Ser. III: № 2997. Kiew. Hort. Bot. 26.06.1870. J. Walz.
- Vicia amphicarpa* Dorthes. III: № 3336. Culta, Kiew Hort. Bot. 17.07.1869. J. Waltz. Regensburg.
- Vicia galloprovincialis* Poir. III: № 3353. Hort. Botan. Kiowiensis. 9.08.1869. In prateo montanis Gallia [J]. J. Walz.
- ! *Vicia Hohenackeri* Fisch. III: № 3364. Hort. Bot. Kiew. 5.08.1869. J. Walz. [J].
- * *Vicia michauxii* Schrank ex Steud. III. *V. michauxii* Spr.: № 3369. Kiew Hort. Bot. 14.07.1869. J. Walz. [J].

Fumariaceae

- * *Corydalis nobilis* (L.) Pers. III. *C. nobilis* Pers. 1807.: № 2191. H. Bot. 10.04.1869. J. Walz. Sibiris.
- * *Fumaria alexandrina* Ehrenb. ex V.Ten. III. *F. alexandrina* Ehrnb.: № 2202. Hort. Botan. Kiowiensis. 10.0.1869. J. Walz.
- ! *Fumaria Boreale* Boiss. III: № 2203. Hort. Botan. Kiowiensis. 10.0.1869. J. Walz.
- * *Fumaria capreolata* L. III: № 2204. Hort. Botan. Kiowiensis. 10.0.1869. J. Walz.
- Fumaria officinalis* L. III: № 2207. Hort. Botan. Kiowiensis. 28.08.1869. J. Walz.

Ginkgoaceae

- Ginkgo biloba* L. I: № 119.4.a. Крим. Нікітський сад. /III. 1909. Зібр. і визн. М. Зеленецький; № 119.4.б. Крим. Нікітський сад. VI/1885. N. Zelenetsky. Flora Taurica.

Grossulariaceae

- Grossularia uva-crispa* (L.) Mill. III. *Ribes grossularia* L.: № 2741. Київськ. бот. сад. 29.04.1870. Вальц.
- ! *Ribes grossularia* α *glandulosa* — *setosum*. III: № 2742. Київськ. бот. сад. 16.04.1869. Вальц.
- Ribes alpinum* L. II: № 6513. Hort. Bot. Kiew. 7.V.1870. (Europa, Sibirien, Azient.). J. Walz. EST! Nataliya M. Shiyani. Date: 26.03.2005. Institute of Botany of the Nat. Acad. of Sci. of Ukraine; III: № 2736 — 2737. Київськ. бот. сад. 29.04.1870. Вальц.
- Ribes aureum* Pursh. II: № 6518. Hort. Bot. [Kiew]. 16.IV. 1869. (America septentrionalis.)

J. Walz; III: № 2737. Київськ. бот. сад. 4.05.1870. Вальц.

!*Ribes flaorum* Berl. III: № 2740. Київськ. бот. сад. 29.04.1870. Вальц.

Ribes nigrum L. III: № 2744. Київськ. бот. сад. 29.04.1870. Вальц.

Hyacinthaceae

**Muscari botryoides* (L.) Mill. II. *Muscari* = *Botryanthus bothryoides* Mill.: № 2321. Бот. сад. 18.IV.1862. Яків Вальц.

Lamiaceae

**Nepeta glechoma* Benth. II: № 12487. Бот. сад. 18. IV.1862. J. Walz.

Origanum vulgare L. II: № 12929. Kiew Hort. Bot. 10.VII.1869. (Wien, 1869). J. Walz.

Rosmarinum officinalis L. I: № 1905. Крим. Нікітський ботанічний сад. Липень 1923 р. Leg., det. В.Пастернацька; II: № 12394. Нікітський сад. 25 березень 1872. [Sredinsky].

Salvia verticillata L. II: № 12805. Kiew Hort. Bot. 24.VII.1869. (in Europa austr. et in Asta Mediterranev caucasica). J. Walz.

Linaceae

Linum austriacum L. III: № 3522. Hort. Bot. Kiew. 2.06.1869. J. Walz.

Linum perenne L. III: № 3559. Hort. Bot. Kiew. 2.06.1869. J. Walz.

!*Linum punctatum* B. III: № 3562. Hort. Bot. Kiew. 11.07.1869. J. Walz.

Linum squamulosum Rudolphi ex Willd. III. *Linum squamulosum* Rud.: № 3564. Hort. Bot. Kiew. 10.07. 1869. In Tauria et Tanais. J. Walz.

Linum usitatissimum L. III: № 3573–3575. Kiew. Hort. Bot. 11.07.1869. Reg. 1869. J. Walz.

Lythraceae

Lythrum salicaria L. II: № 10402. Kiew Hort. Bot. 18.VI.1870. J. Walz; № 10403. Kiew Hort. Bot. 18.VI.1870 (Patria ign. in horto Monspel). J. Walz; III. *Lythrum salicaria* L. v. *vulgare* DC.: № 3855. Kiew. Hort. Bot. 18.06.1870. J. Walz.

Malvaceae

Althaea cannabina L. III: № 3692. Kiew. Hort. Bot. 2.09.1869. J. Walz.

!*Kitaibelia malacoides* L. III: № 3675. Kiew. Hort. Bot. 1869. J. Walz.

Kitaibelia vitifolia Willd. III: № 3678. Kiew. Hort. Bot. 1869. J. Walz.

**Malope malacoides* L. III: № 3677. Kiew. Hort. Bot. 4.08.1869. In Italia, Gallia, Hispania [J. 1869. J. Walz.

**Malva borealis* Wallm. III. *M. borealis* W.: № 3717. Kiew. Hort. Bot. 14.07.1869. [J. Walz].

**Malva parviflora* L. III: № 3723. Kiew. Hort. Bot. 15.07.1869. In Sallia austral. Warochan. 1869. J. Walz.

Malva pulchella Bernh. III: № 3725. Kiew. Hort. Bot. 17.07.1869. Hale. J. Walz.

Malva verticillata L. III: № 3732. Kiew. Hort. Bot. 23.07.1869. In China. [Warsan]. J. Walz.

Oleaceae

!*Fraxinus oxyphylla*. II: № 4281. Tauria. Hort. Bot. Nikit. 1833. Steven / Nordmann.

Papaveraceae

**Argemone mexicana* L. III: № 2161. Kiew. H. Bot. 10.07.1869. In [canepertibus montani] Mexici. [Munchen] 1869. J. Walz.

**Chelidonium laciniatum* Mill. III: № 2141. Kiew. H. Bot. 10.05.1870. J. Walz.

!*Chelidonium majus* L. fl. plena. III: № 2149. H. Bot. Kiew. 2.06.1867. J. Walz.

Papaver orientale L. II: № 5300. Hort. Bot. Kiew. 19.V. 1869. J. Walz; III: № 2178. Hort. Bot. Kiowiensis. J. Walz.

!*Papaver pyrenaicum* L. III: № 2179. Hamburg. Hort. Bot. Kiowiensis. 10.07.1869. J. Walz.

Pinaceae

Abies nordmanniana (Steven) Spach. I. № 135.13. III.1909. Крим. Нікітський сад.

**Abies pectinata* (Lam.) DC. I. *A. pectinata* DC.: № 136.4–5. III.1909. Крим. Нікітський сад.

!*Cedrus Libani* Barr. (*C. libani* Barr.). I: № 141.2. III.1909. Крим. Нікітський сад; № 141.4. Крим. Нікітський сад. Липень 1923 р. Leg., det. В. Пастернацька.

Picea morinda Link. I. *P. Morinda* Linx.: № 147.2. III.1909. Крим. Нікітський сад.

Picea pungens Engelm. I: № 153.2. III.1909. Крим. Нікітський сад.

**Picea schrenkiana* Fisch. & C.A. Mey. I. *P. Schrenkiana* J. et M.: № 154.1. Ель Шренка. III.1909. Крим. Нікітський сад.

**Pinus excels* Wall. ex D.Don. I. *P. excelsa* Wall.: № 160.1. III.1909. Нікітський сад.

!*Pinus laricio* Poir. var *austriaca* Endlich. I: № 166.3. III.1909. Крим. Нікітський сад.

**Pinus montana* Mill. I: № 169.2. III.1909. Крим. Нікітський сад.

Pinus strobus L. I: № 176.5. III.1909. Крим. Нікітський сад.

Розацеае

**Avena brevis* Roth. II: № 538. Київський бот.сад. Пос. 20.04., збір. 4.08.1866. Яков Вальц.

Avena nuda L. β *microsperma* [Kr...]. II: № 556. Київський бот.сад. Пос. 20.04., збір. 4.08.1866. J. Walz; № 557. Київський бот.сад. Пос. 20.04., збір. 4.08.1866. J. Walz.

!*Avena orientalis* Schreb. α *alba aristata* Kr. III: № 245. Culta. Київ, бот. сад. Посаджено 20.04, збір. 23.06.1866. Я. Вальц.

!*Avena orientalis* Schreb. β *alba mutica* Kr. III: № 246–247. Culta. Київ, бот. сад, посаджено 20.04, збір. 4.08.1866. Я. Вальц.

Avena sativa L. III: № 252. Київ, бот. сад, посаджено 20.04., збір. 4.08.1866. Я. Вальц; № 253. Київ, бот. сад, посаджено 20.04., збір 23.06.1866. Я. Вальц.

!*Avena sativa* L. β *caucasica*. III: № 254. Київ, бот. сад, посаджено 20.04, збір. 4.08.1866. Я. Вальц.

!*Avena sativa* L. ν *chinensis* Malz (?). III: № 255. Київ, бот. сад, посаджено 20.04, збір. 4.08.1866. Я. Вальц.

!*Avena sativa* L. ν *Hopetovensis*. III: № 256. Culta. Київ, бот. сад. Посаджено 20.04, збір. 12.07./4.08.1866. Я. Вальц.

!*Avena sativa* L. ν *Kemtschatica*. III: № 257. Culta. Київ, бот. сад. Посаджено 20.04, збір. 4.08.1866. Я. Вальц.

!*Avena sativa* L. γ *nigra mutica*. III: № 258. Culta. Київ, бот. сад, посаджено 20.04, збір. 4.08.1866. Я. Вальц.

!*Avena sativa* L. ν *praegravis*. III: № 259. Culta. Київ, бот. сад, посаджено 20.04., збір. 4.08.1866. Я. Вальц.

!*Avena sativa* L. α *rossica*. III: № 260. Culta. Київ, бот. сад. Посаджено 20.04, збір. 4.08.1866. Я. Вальц.

**Avena strigosa* Schreb. II: № 578. Київ, бот. сад. Пос. 20.04., збір. 4.08.1866. [Walz].

Hordeum distichon L. II: № 1223. Шотландський ячмінь. Київський бот. сад. Посаджено 20 квітень, збір. 23 червня 1866. Як. Вальц.

!*Hordeum distichon* L. ν *erectum* L. K. II: № 1224. Київ. бот. сад. Пос. 20 квітень, збір. 13 липень. Вальц; № 1225. Київ.

бот. сад. Пос. 20 квітня, збір. 13 липня. Вальц.

!*Hordeum distichon* L. ν *nudum*. II: № 1227. Київ. бот. сад. Пос. 20 квітня, збір. 29 липня. Вальц.

!*Hordeum distichon* L. ν *vulgatum*. II: № 1228. Київ. бот. сад. Пос. 20 квітня, збір. 29 липня. Вальц.

!*Hordeum trifurcatum* All. (*H. vulgare* L. var. *trifurcatum* Scringl., *H. aegicerus* Meyer, *H. tartile* Rob.). II: № 1239. Київ. бот. сад. Пос. 20 квітня, збір. 23 липня. Вальц.

Hordeum vulgare L. II: № 1240. Київ. бот. сад. Пос. 20 квітня, збір. 29 липня. Вальц.

!*Hordeum vulgare* L. ν *coelesta* L. II: № 1241. Київ. бот. сад. Пос. 20 квітня, збір. 29 липня. Вальц.

!*Hordeum vulgare* L. β *hexastichum* L. II: № 1243. Київ. бот. сад. Пос. 20 квітня, збір. 12 липня. Вальц; № 1244. Київ. бот. сад. Пос. 20 квітня, збір. 29 липня. Вальц.

!*Hordeum vulgare* L. β *hexastichum* var. *nigrum*. II: № 1242. Київ. бот. сад. Пос. 20 квітня, збір. 29 липня. (Regenburg). Вальц.

!*Hordeum vulgare* L. β *mandschurei*. II: № 1245. Манджурський ячмінь. Київ. бот. сад. Пос. 20 квітня, збір. 23 липня. Як. Вальц.

!*Hordeum zeocrithum* L. II: № 1247. Київ. бот. сад. Пос. 20 квітня, збір. 29 липня. Вальц.

Panicum miliaceum L. II: № 203. Київський бот. сад. Я. Вальц. 1866.; № 205. Київський бот. сад. Cultum. Пос. 20.04. Збір. 23.06. 1866. Я. Вальц; № 206. Київський бот.сад. Пос. 20.04, збір. 23.06.1866. Я. Вальц; III: № 125. Посаджено 20.04., збір. 29.07.1866. [Я. Вальц].

!*Panicum miliaceum* L. ν *brunneum*. III: № 127. Київський бот. сад. Посаджено 20.04., зібрано 23.07.1866. J. Walz.

Phalaris canariensis L. II: № 276. Київський бот.сад. Пос. 20.04, збір. 13.07.1866. Як. Вальц.

Setaria italica (L.) P. Beauv. II. *Setaria italica* P.B.: № 235. Culta, Київський бот. сад. Пос. 20.04., збір. 13.07.1866. Walz; № 236. Київський бот. сад. Пос. 20.04., збір. 13.07.1866. Walz; № 237. Київський бот. сад. Пос. 20.04., збір. 13.07.1866. Walz.

!*Triticum diccicum* Schran. 1820, 1789. III: № 540. Cultum. Kiew. J. Schrenk; № 540.1.

- Київ. бот. сад. Посаджено 20.04, збір. 13.07.1866. Я. Вальц.
- ! *Triticum durum* Desf. 1798 γ *album glabrum* Krause 1837. III: № 541. Київ, бот. сад. Посаджено 20.04, збір. 23.07.1866. J. Walz; IV: № 85. Hort. Київ. 29 julii 1866. [Walz]. Herb. Ed. Lindemann.
- ! *Triticum durum* Desf. β *album relatinum*. III: № 542. Київ, бот. сад. Посаджено 20.04, збір. 29.07.1866. J. Walz; № 543. Cultum. Київ, бот. сад. Посаджено 20.04, збір. 29.07.1866. J. Walz.
- ! *Triticum durum* Desf. β *rubrum* Kuntze. III: № 544. Cultum. Київ, бот. сад. Посаджено 20.04, зібрано 23.07.1866. J. Walz.
- ! *Triticum durum* Desf. β *rubrum velutinim*. III: № 545. Київ, бот. сад. Посаджено 20.04, зібрано 13.07.1866. J. Walz.
- ! *Triticum vulgare* L. ν *aristatum album*. III: № 560–562. Cultum. Київ, бот. сад. Посаджено 20.04., зібрано 24.07.1866. Я. Вальц.
- * *Triticum vulgare* Vill. III: № 558. Cultum. Київ, бот. сад. Посаджено 20.04., збір. 23.06.1866. Я. Вальц.
- ! *Zea mays* L. ν *albida praesox*. III: № 91. Київ, бот. сад. Посадж. 20.04., збір. 4.07.1866. J. Walz.
- ! *Zea mays* L. ν *algoiensis*. III: № 92. Київ, бот. сад. Посадж. 20.04., збір. 13.07.1866. J. Walz.
- ! *Zea mays* L. ν *alterbargensis praesox*. III: № 93. Київ, бот. сад. Посадж. 20.04., збір. 13.06.1865. J. Walz.
- ! *Zea mays* L. ν *alterbargensis*. III: № 94. Київ, бот. сад. J. Walz.
- ! *Zea mays* L. ν *aurantiacus*. III: № 95. Київ, бот. сад. Посадж. 20.04., збір. 4.07.1866. J. Walz.
- ! *Zea mays* L. ν *ellevangensis*. III: № 97. Київ, бот. сад. J. Walz; № 98. Київ, бот. сад. Посадж. 20.04., збір. 4.07.1866. J. Walz.
- ! *Zea mays* L. ν *gallica*. III: № 99. Київ, бот. сад. Посадж. 20.04., збір. 4.07.1866. J. Walz.
- ! *Zea mays* L. ν *Linguantineus*. III: № 100. Київ, бот. сад. Посадж. 20.04., збір. 4.07.1866. J. Walz.
- ! *Zea mays* L. ν *praesox* Eld. III: № 101. Київ, бот. сад. Посадж. 20.04., збір. 4.07.1866. J. Walz.
- ! *Zea mays* L. ν *regia* Philipp. III: № 102. Київ, бот. сад. Посадж. 20.04., збір. 4.07.1866. J. Walz.
- ! *Zea mays* L. ν *rubra*. III: № 103. Київ, бот. сад. Посадж. 20.04., збір. 4.07.1866. J. Walz.
- ! *Zea mays* L. ν *rubra nobilis*. III: № 104. Київ, бот. сад. Посадж. 20.04., збір. 4.07.1866. J. Walz.
- ! *Zea mays* L. ν *rubra, praesox*. III: № 105. Київ, бот. сад. J. Walz. Herb. J. Walz.
- ! *Zea mays* L. ν *Trinbettensis*. III: № 106. Київ, бот. сад. Посадж. 20.04., збір. 4.07.1866. J. Walz; № 107. Київ, бот. сад. J. Walz.
- ! *Zea mays* L. ν *variegata*. III: № 108. Київ, бот. сад. J. Walz; № 109. Київ, бот. сад. Посадж. 20.04., збір. 19.07.1866. J. Walz.

Polygonaceae

- * *Fagopyrum emarginatum* Moench. II. *F. emarginatum* Meissn. (*Polygonum emarginatum* Rotz.): № 3581. Київ, бот. сад. 19.VII.1869. (Regensburg. 1969). J. Walz.
- Fagopyrum esculentum* Moench (*F. sagittatum* Gilib., nom. illeg., *Polygonum fagopyrum* L.). III: № 1262. Київ, бот. сад. Посаджено 20.04, збір. 3.06.1866. Я. Вальц.
- Fagopyrum tataricum* (L.) P. Gaertn. (*Polygonum tataricum* L.) II. *Fagopyrum tataricum* Gört.: № 3586. Київ, Бот. сад. Пос. 20-го квітн., збір. 3-го липня 1866. Walz; III. *Polygonum tataricum* L.: № 1261. Kiew. Hort. Bot. 1869. Я. Вальц.
- Rumex bucephalophorus* L. II: № 3480. Hort. Kiviensis. J. Walz; III: № 1174. Kiew. Hort. Bot. 17.07.1869. Я. Вальц.

Ranunculaceae

- Clematis flammula* L. III: № 1936. Hort. Bot. Kiew. 3.06.1869. J. Walz.
- ! *Clematis integrifolia* L. γ *elongata* DC. III: № 1944. Hort. Bot. Kiew. 2.06.1870. Я. Вальц.
- Clematis recta* L. III: № 1948. Hort. Botan. Kioviensis. 1869.
- ! *Delphinium Berlowii* Hort. III: № 1869. Київ, бот. сад. 20.06.1870. Я. Вальц.
- Delphinium elatum* L. III: № 1882. Київ, бот. сад. 30.08.1870. Я. Вальц.
- ! *Delphinium intermedium* Alt. α *ranunculi-folium* DC. III: № 1885. Київ, бот. сад. 22.08.1869. Я. Вальц.
- ! *Delphinium lilacinum* Hort. III: № 1886. Київ, бот. сад. 30.06.1870. Я. Вальц.
- ! *Delphinium tricolor* Hort. III: № 1894. Бот. сад., Київ. 3.09.1869. J. Walz.
- ! *Delphinium vitifolium*. III: № 1895. Бот. сад., Київ. 30.06.1870. J. Walz.

! *Nigella damascena* L. *v* *coardata*. III: № 1851. Kiew. H. Bot. Wurzburg. 18.07.1869. Я. Вальц.

* *Nigella orientalis* L. III: № 1852. Kiew. H. Bot. Wurzburg. 7.07.1869. Prof. J. Walz.

Pulsatilla pratensis (L.) Mill. III: № 1931. Kiew. Hort. botan. 18.04.1862. Я. Вальц.

Ranunculus nemorosus DC. III: № 2005. Київ, бот. сад. 08.1860. Я. Вальц.

* *Thalictrum elatum* Jacq. III: № 2081. Hort. Botan. Kioviensis. 24.07.1869. Walz; № 2082. Hort. Botan. Kioviensis. 31.07.1869. Walz.

! *Thalictrum expansum* Fisch. III: №. 2106. Київ., бот.сад. 1869. Walz.

! *Thalictrum triginum* Fisch. III: № 2107. Kiew. Hort. Bot. Kioviensis. 26.06.1869. Prof. J. Walz.

Rosaceae

* *Geum album* J.F. Gmel. III. *G. album* Gmel.: № 2864. Cultum. Kiew. H. Bot. 26.05.1870. J. Walz; № 2865. Cultum. Kiew. H. Bot. 3.06.1869. J. Walz.

! *Geum lyratum*. II. *G. liratum*: № 7412. Hort. Bot. Kiew. 9.VIII.1869. J. Walz; III. *Geum lyratum*: № 2870. Kiew. Hort. Bot. 26.05.1870. J. Walz.

Geum urbanum L. III: № 2875. Kiew. Hort. Bot. 20.06.1869. In monte Olympe Brithynica. J. Walz.

Potentilla alba L. III: № 2805. Kiew. H. Bot. 10.05.1870. J. Walz.

! *Potentilla fragarioidea* L. III: № 2833. Kiew. Hort. Bot. 10.05.1870. in Sibiria. J. Walz.

* *Potentilla salisburgensis* Haenk. III. *P. salisburgensis*: № 2851. Kiew. H. Bot. In Helvetia. 1.06.1870. J. Walz.

! *Poterium gargaricum* Ten. III: № 2882. Cultum. Kiew. H. Bot. 29.05.1870. J. Walz.

! *Poterium stenolosum* Hort. III: № 2888. Cultum. Kiew. H. Bot. 31.07.1869. J. Walz.

Pyrus communis L. III: № 2764. Київ, бот. сад. 1866. Я. Вальц.

Rosa canina L. III: № 2889. Kiew. H. Bot. 7.06.1870. J. Walz.

Rubiaceae

! *Asperula longifolia* Sib. III: № 5183. Kiew. Hort. Bot. 21.08.1869. J. Walz.

Rutaceae

Ptelea trifoliata L. II: № 9152. Бот. сад. 29.VI. 1861. (америк. рослина). Я. Вальц.

Scrophulariaceae

! *Linaria cymbalaria* Mill. 1831. II: № 13359. Kiew Hort. Bot. 1869. (Warschau. 1869). J. Walz; IV: № 2785. Hort. Bot. Kiew. 1869. J. Walz.

Taxodiaceae

* *Cryptomeria japonica* (L.f.) D.Don. I: *C. japonica* Don. № 179.1. III.1909. Крим. Нікітський сад.

* *Sequoia gigantea* (Lindl.) Torr. ex A. Gray. I. *S. gigantea* Torr.: № 182.4–5. *Wellingtonia gigantea*. III.1909. Крим. Нікітський сад; № 182.6. *Wellingtonia gigantea* Lindl. Крим. Нікітський сад. Липень 1923 р. Leg., det. В. Пастернацька.

Taxaceae

! *Taxus adpressa* Gord. I: № 121. 1/III.1909. Крим. Нікітський ботсад.

Taxus baccata L. I: № 120.4. Крим. Нікітський сад. 1/III.1909.

! *Taxus baccata* L. var. *pyramidalis* Hort. I: № 120. 5./III. 1909. Крим. Нікітський сад.

Zygophyllaceae

Tribulus terrestris L. II: № 9111. Kiew Hort. Bot. 16.VII. 1869. (in arenosis Europae pistralis. Barbaris. Seregaliae, ins Mauritiae. Mühchen, 1869). J. Walz.

Переважна більшість г.а. містять рослини з родини *Poaceae*. Вони представляють лише 12 видів, з семи родів, проте — аж 38 форм та варієтетів. За кількістю г.а., на другому місці — родина *Fabaceae* (63 г.а.; 56 видів; 23 роди; 3 форми/варієтети). Значною кількістю г.а. подані такі родини: *Ranunculaceae* (17; 13; 6; 3); *Brassicaceae* (16; 16; 13; —); *Pinaceae* (13; 9; 4; 1); *Rosaceae* (12; 10; 5; —); *Grossulariaceae* (9; 5; 2; 1); *Caryophyllaceae* (8; 7; 4; 1); *Malvaceae* (8; 8; 4; —). На десятому місці — родина *Linaceae* (7; 5; 1; —). Одинадцять родин представлені по одному г.а.

Більшість зібраних екземплярів є культивованими видами (формами, варієтетами), проте наявні і бур'яни: *Alyssum calycinum* L., *Erophila verna* (L.) Besser, *Cheopodium glaucum* L.

Найбільшою кількістю гербарних аркушів репрезентовані такі види/форми: *Panicum miliaceum* L. (4), *Lathyrus sativus* L.,

Ribes alpinum L., *Linum usitatissimum* L., *Papaver orientale* L., *Setaria italica* (L.) P. Beauv., *Triticum vulgare* L. *v aristatum album*, *Sequoia gigantea* (Lindl.) Torr. ex A.Gray. (всі по три г.а.). Ще 26 видів (форм, варієтетів) представлені по два г.а.

ВИСНОВКИ

У чотирьох історичних гербарних колекціях (разом понад 30 тис. г.а.) MSUD виявлено 281 г.а., на яких представлено 185 видів, 50 форм та варієтетів із 106 родів, 36 родин. Рослини на більшості гербарних аркушів (87,55%) зібрані проф. Я.Я. Вальцем (246 аркушів з 221 видом, 171 роду) у Київському ботанічному саду (нині Бот. сад імені О.В. Фоміна), здебільшого в 1870, 1869, 1866 та інші роки. Професором М.М. Зеленецьким зібрано 21 вид із 18 родів (25 г.а.) з Нікітського ботанічно-

го саду (переважно 1909 р.). Чотири види (чотири г.а.) зібрані В.Ф. Пастернацькою також у 1923 р. За авторства М.К. Срединського представлено три г.а. (три види з трьох родів) із написами: Нікітський бот. сад (1872 р.). Більшість аналізованих г.а. з рослинами, зібраними у ботанічних садах України належать до родини *Poaceae* (12 видів, проте — аж 38 форм та варієтетів). На другому місці — родина *Fabaceae* (63 г.а.; 56 видів та три форми/варієтети). Більшість зібраних екземплярів є культивованими рослинами (формами, варієтетами), проте є і бур'яни. Найбільшою кількістю гербарних аркушів репрезентовані такі види/форми: *Panicum miliaceum* (чотири), *Lathyrus sativus*, *Ribes alpinum*, *Linum usitatissimum*, *Papaver orientale*, *Setaria italica*, *Triticum vulgare v aristatum album*, *Sequoia gigantea* (всі по три г.а.).

ЛІТЕРАТУРА

- Бойко, З. В., Горожанкіна, Н. А., & Грушка, В. В. (2021). Розвиток екологічного туризму в Україні на основі використання потенціалу ботанічних садів. *Ефективна економіка*, 6. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.6.88>.
- Шиян, Н. М. (Ред.). (2011). *Гербарії України. Index Herbariorum Ucrainicum*. Київ, 2011. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.botany.kiev.ua/doc/Herbarium_Ukr_2011.pdf.
- Скарби гербарію ОНУ (MSUD). *Гербарна колекція Е. Е. Ліндеманна*. (2017). Одеса: «Освіта України».
- Бондаренко, О. Ю., & Назарчук Ю. С. (2023). Види рослин школи садівництва м. Одеси (XIX–XX ст.) (за матеріалами MSUD). *Агроекологічний журнал*, 1, 47–57. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2023.276727>.
- Мосякін, С. Л., & Шиян, Н. М. (2021). Національний гербарій України (KW): 100 років збереження та примноження нашої всесвітньо значущої наукової та культурної спадщини. У С. Л. Мосякін, Л. О. Тасенкевич, Н. М. Шиян, І. Г. Ольшанський, С. Л. Жигалова (Ред.), *Гербарії XXI століття: досягнення та виклики* (с. 6–9). Київ: Інститут ботаніки імені М. Г. Холодного НАН України. URL: http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/24323/1/Barna_Barna.pdf.
- Коломійчук, В. П. (2021). Гербарій KWHU: сучасні реалії та перспективи розвитку. У С. Л. Мосякін, Л. О. Тасенкевич, Н. М. Шиян, І. Г. Ольшанський, С. Л. Жигалова (Ред.), *Гербарії XXI століття: досягнення та виклики* (с. 60–64). Київ: Інститут ботаніки імені М. Г. Холодного НАН України. URL: http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/24323/1/Barna_Barna.pdf.
- Бондаренко, О. Ю., Назарчук, Ю. С., & Файрушин, Є. Д. (2024). Види рослин, культивовані в ботанічному саду Одеського національного університету імені І. І. Мечникова (за матеріалами MSUD). *Агроекологічний журнал*, 3, 62–71. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311181>.
- Соломаха, В. А. (Ред.). (2007). *Ботанічний сад ім. акад. О. В. Фоміна. Каталог рослин. — Природно-заповідні території України*. Рослинний світ. Вип. 7. Київ: Фітосоціоцентр. URL: <http://surl.li/fbnrww>.
- Коваленко, С. Г., Васильєва, Т. В., & Швець, Г. А. (2005). *Ботаніки і ботанічні дослідження в Одеському національному університеті ім. І. І. Мечникова (1865–2005)*. Одеса: Фенікс.
- Mosyakin, S. L., & Fedoronchuk, M. M. (1999). *Vascular Plants of Ukraine. A nomenclature Checklist*. Kiev.
- IPNI (2025). *International Plant Names Index. Published on the Internet*. <https://www.ipni.org/>, The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Herbarium. [Retrieved 31 January 2025].
- Нордман, Александр фон. (31 січня 2025). *Вікіпедія, вільна енциклопедія*. URL: <http://surl.li/zaavjb>.

Стаття надійшла до редакції журналу 31.01.2025

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА, ВКРИТИХ ЛІСОВОЮ РОСЛИННІСТЮ, ЗЕМЕЛЬ ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА «ДРЕВЛЯНСЬКИЙ»

В.В. Мартиненко

Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: martinenko.vasil@ukr.net; ORCID: 0000-0002-2526-6732

У статті представлені результати розподілу території лісового фонду вкритих лісовою рослинністю земель за еколого-флористичною класифікацією Браун-Бланке. Згідно з Прогнозом рослинності України територія лісових екосистем подана двома групами рослинності. Перша група — Водна та болотна рослинність, до складу якої входить 1 порядок, 1 союз і 2 асоціації. Ця рослинність є територією лісового болота, що на початку 60–70-х років ХХ ст. зазнала меліоративного впливу, а осушена територія була засаджена культурами сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) та берези повислої (*Betula pendula* Roth.). Друга — Лісова рослинність, яка представлена 5 класами, 5 порядками, 5 союзами та 11 асоціаціями. Чималу площу займає клас VACCINIO-PICEETEA BR.-BL. IN BR.-BL. ET AL. 1939, що репрезентований 1 порядком, 1 союзом та 6 асоціаціями. Найбільша площа серед асоціацій цього класу — *Dicrano — Pinetum Preisinget Knappex Oberd.* 1957, яка займає 10658,5 га, або 70,95% території вкритих лісовою рослинністю лісових земель. У 2000-х, 2010-х і в 2020 рр. частина асоціації зазнала пірогенного впливу з повною або частковою зміною як деревної, так і трав'яної рослинності. До того ж значними площами подано клас QUERCETEA ROBORI — PETRAEAE BR.-BL. ET TX. EX OBERD. 1957 (асоціація *Quercus robur* — *Pinetum Matuszkiewicz* 1981), що представляє собою слабоацидофільні флористично багаті дубові і сосново-дубові ліси. Перспективним напрямом продовження цього дослідження є класифікування за Браун-Бланке непокритих лісовою рослинністю лісових земель та нелісових земель заповідника, а також створення тематичних карт розміщення рослинності, класів, порядків, союзів та асоціацій із врахуванням змін рослинності на території.

Ключові слова: лісова типологія, синтаксономія рослинності, оселища, фітоіндикація.

ВСТУП

У своїй діяльності для позначення території до певного рослинного угруповання лісівники використовують тип лісорослинних умов, який вказують у лісотаксаційних описах лісових ділянок (виділів) під час проведення лісовпорядних робіт. Щоб встановити повний перелік рослинності надалі після встановлення типології лісової ділянки необхідно брати відповідний довідник, в якому подано повний перелік рослинності, що відповідають тим чи іншим типологічним умовам. Водночас вчені-ботаніки частіше використовують саме класифікацію Браун-Бланке. Адже за її допомогою можна класифікувати рослинність не тільки в лісових екосистемах, а й будь-де, навіть у таких екосистемах, де лісова типологія не розповсюджується. В об'єктах природно-заповідного фонду

найдоцільнішим під час опису рослинності застосовувати саме класифікацію, хоча допускається використовувати й лісову типологію також.

Мета роботи — класифікувати та охарактеризувати на основі висвітлених публікацій [1; 2] та натурних спостережень, вкритих лісовою рослинністю, лісових земель природного заповідника «Древлянський» за еколого-флористичною класифікацією Браун-Бланке.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Як відомо, екологи під час опису будь-якої території в лісових екосистемах використовують частіше саме класифікацію Браун-Бланке, адже типологічна характеристика наявна лише у власників лісових земель. Так, у своїх статтях, В.Л. Шевчик, В.В. Коніщук, І.В. Соломаха, Є.В. Никон-

чук [3–6] здійснювали опис зростання рідкісних видів рослин та характеристику територій саме за еколого-флористичною класифікацією. Також ці науковці проводили опис рідкісних видів у межах лісових екосистем об'єктів природно-заповідного фонду [7; 8], що є більш доцільнішим, ніж вказувати типологію певної території. Крім опису та характеристики зростання рідкісних видів, вчені-екологи використовують також для зазначення екологічних умов знаходження адвентивних та інвазійних видів фітобіоти [9–11]. Необхідно застосовувати еколого-флористичну класифікацію Браун-Бланке під час опису рослинності в пользахисних лісових смугах [12], оскільки за характеристику рослинності можна брати лісову типологію, а тому у найкращий спосіб здійснити опис рослинності та її класифікування потрібно саме за Продромусом рослинності України.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для розподілу лісової екосистеми за еколого-флористичною класифікацією Браун-Бланке першочергово проводився відбір ділянок із різноманітними рослинними умовами (головна порода та тип лісорослинних умов). Усього було відібрано 25 лісових ділянок, де здійснювався повний геоботанічний опис ділянки розміром 10×10 м із зазначенням виду та його проективного покриття (щільності), а також встановленням типу ґрунту [13; 14]. Після виконання геоботанічних описів та складання флористичної таблиці за допомогою Продромусу рослинності України визначалася приналежність території до певного класу (порядку, союзу, асоціації).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За результатами польових досліджень запропоновано синтаксономічну схему лісової рослинності природного заповідника «Древляньський», яка включає 2 групи рослинності, 6 класів, 6 порядків, 13 асоціацій [15]. Загальна синтаксономічна схема має такий вигляд:

ВОДНА ТА БОЛОТНА РОСЛИННІСТЬ

КЛАС *OXYCOCCO-SPHAGNETEA* BR.-BL. ET TX. EX WESTHOFF, DIJK ET PASCNIER 1946

Порядок *Sphagnetalia medii* Kästneret Flössner 1933

Союз *Sphagnion medii* Kästneret Flössner 1933

Асоціація *Eriophoro vaginati* — *Pinetum sylvestris* Hueck 1931

Асоціація *Ledo* — *Sphagnetum fusci* Du Rietz 1921

ЛІСОВА РОСЛИННІСТЬ

КЛАС *VACCINIO-PICEETEA* BR.-BL. IN BR.-BL. ET AL. 1939

Порядок *Pinetalia sylvestris* Oberd. 1957

Союз *Dicrano* — *Pinion sylvestris* (Libbert 1933) Matuszkiewicz 1962

Асоціація *Cladonio* — *Pinetum* Juraszek 1927

Асоціація *Dicrano* — *Pinetum* Preisinetget Knappex Oberd. 1957

Асоціація *Peucedano* — *Pinetum* Matuszkiewicz (1962) 1973

Асоціація *Veronico incanae* — *Pinetum* Bulokhovet Solomeshch 2003

Асоціація *Molinio* — *Pinetum* Matuszkiewicz (1973) 1981

Асоціація *Vaccinio uliginosi* — *Pinetum* Kleist 1929

КЛАС *CARPINO-FAGETEA SYLVATICAE* JAKUCS EX PASSARGE 1968

Порядок *Carpinetalia betuli* P. Fukarek 1968

Союз *Carpinion betuli* Issler 1931

Асоціація *Tilio cordatae* — *Carpinetum* Traczyk 1962

КЛАС *QUERCETEA ROBORI* — *PETRAEAE* BR.-BL. ET TX. EX OBERD. 1957

Порядок *Quercetalia roboris* Tx. 1931

Союз *Pino-Quercion* Medwecka-Kornašetal. In Szafer 1959

Асоціація *Quercro robori* — *Pinetum* Matuszkiewicz 1981

КЛАС *SALICETEA PURPUREAE* MOOR 1958

Порядок *Salicetalia purpureae* Moor 1958

Союз *Salicion albae* Soó 1951

Асоціація *Salicetum albae* Issler 1926

Асоціація *Myosotido palustris* — *Salicetum albae* Shevchyket Solomakha 1996

КЛАС *ALNETEA GLUTINOSAE* BR.-BL. ET TX. EX WESTHOFF ET AL. 1946

Порядок *Alnetalia glutinosae* Tx. 1937

Союз *Alnion glutinosae* Malcuit 1929

Асоціація *Ribo nigri* — *Alnetum* Solińska-Górnicka (1975) 1987

Перша група — Водна та болотна рослинність. Група складається з двох асоціацій: *Eriophoro vaginati* — *Pinetum sylvestris* Hueck 1931 та *Ledo* — *Sphagnetum fuscii* Du Rietz 1921 [16–18]. Асоціації знаходяться в Національному природоохоронному науково-дослідному відділенні (далі — ПНДВ) на Стельмаховому болоті (51.147520, 29.191742). Впродовж 1970-80-х рр. XX ст. ця ділянка лісу була представлена лісовим болотом. Після осушення на території було створено культури сосни (*Pinus sylvestris* L.) та берези (*Betula pendula* Roth.). Згідно з гігротопним рядом це є волога територія. Серед рослинності типовими видами є багно звичайне (*Ledum palustre* L.), сфагнум болотний (*Sphagnum palustre* L.) та колючий (*Sphagnum squarrosum* Crome). Залягання торфу в цій місцевості сягає до 2,0 м.

Наступною групою, якою представлені лісові екосистеми — це Лісова рослинність, до складу якої входить 5 класів (11 асоціацій).

Найбільшим класом є *VACCINIO-PI-CEETEA* BR.-BL. IN BR.-BL. ET AL. 1939 (6 асоціацій).

Асоціація *Cladonio* — *Pinetum* Juraszek 1927 [19] подана сухим сосновим лісом. Територіально асоціація розташована на підвищеній місцевості з надзвичайно сухими умовами із дерновим слабопідзолистим ґрунтом. Діагностичним є розріджений моховий покрив із зозулиного льону волосистого (*Polytrichum piliferum* Hedw.). Кладонія (*Cladonia* spp.), має найбільше проквітне покриття із кладонії оленячої (*Cladonia rangiferina* L.).

Асоціація *Dicrano* — *Pinetum* Preisinget Knappex Oberd. 1957 [20] є найпоширенішою асоціацією на території заповідника,

оскільки ця асоціація складається із свіжого бору та дубово-соснового субору, що разом займають 10658,5 га, або 70,95% всієї лісом вкритої площі [2]. Вона зростає на рівнинній частині, між схилами пагорбів. Діагностичними видами асоціації постають види роду Дикран (*Dicranium*), плевроцій Шребера (*Pleurozium schreberi* (Brid) Mitt), види роду осока (*Carex*). Більшість червонокнижних видів рослин, що зростають у лісових екосистемах заповідника є саме в цій асоціації. Частина асоціації зазнала пірогенного впливу у 2000-х та 2020 рр.

Асоціація *Peucedano* — *Pinetum* Matuszkiewicz (1962) 1973 [19; 20] розташована в північній частині заповідника (51.169878, 29.110306) на дерново-середньопідзолистому ґрунті, що представлена сосновим деревостаном із домішкою ялини європейської (*Picea abies* (L.) H. Karst). Діагностами постають конвалія травнева (*Convallaria majalis* L.), чорниця звичайна (*Vaccinium vitis-idaea* L.), плавун звичайний (*Lycopodium clavatum* L.), буквиця лікарська (*Betonica officinalis* L.).

Асоціація *Veronico incanae* — *Pinetum* Bulokhovet Solomeshch 2003 [19] трапляється на незначних мікропідвищеннях дерново-середньопідзолистих ґрунтах. Діагностичними видами асоціації були: вероніка лікарська (*Veronica officinalis* L.) та колосиста (*Veronica spicata* L.), журавець кривавий (*Geranium sanguineum* L.), смовдь гірська (*Peucedanum oreoselinum* (L.) Moench).

Асоціація *Molinio* — *Pinetum* Matuszkiewicz (1973) 1981 [19–21] розташована в понижених частинах заповідника поряд із водними об'єктами лісу, де залягання ґрунтових вод сягає до 1,5 м. Найпоширенішими діагностичними видами постали молінія голуба (*Molinia caerulea* (L.) Moench), вільха чорна (*Alnus glutinosa* (L.) Gaerth) та береза повисла (*Betula pendula* Roth.).

Асоціація *Vaccinio uliginosi* — *Pinetum* Kleist 1929 [19; 22] розміщена поряд із лісовими болотами (наприклад, біля станіонару Мертве озеро — 51.134387, 29.107778), яка пояснює той факт, що на досліджуваних територіях ґрунтові умови представлені

незначною потужністю торфу. Асоціація нерідко заповнена водою, тому трапляються купини. Для діагностування цієї асоціації постали: буяхи (*Vaccinium uliginosum* L.), багно звичайне (*Rhododendron tomentosum* Hartmaja). Також зростають верес звичайний (*Calluna vulgaris* (L.) Hull.), ситник розчепірений (*Juncus squarrosus* L.) та інші види.

Клас *CARPINO – FAGETEA SYLVATICAE* JAKUCS EX PASSARGE 1968 представлений асоціацією *Tilio cordatae – Carpinetum* Traszuk 1962 [23]. Дана ділянка розташована в південній частині Народицького ПНДВ (51.129911, 29.121302) – це грабово-дубовий ліс із багатим, але слабо дренажним ґрунтом, що пояснюється її підтопленням у весняний період, коли близько 90% території знаходиться під водою, а волога окремими місцями тримається до травня-червня. Діагностами в цьому випадку є граб звичайний (*Carpinus betulus* L.), дуб звичайний (*Quercus robur* L.), анемона дібровна (*Anemonoides nemorosa* (L.) Holub).

Клас *QUERCETEA ROBORI – PETRAEAE* BR.-BL. ET TX. EX OBERD. 1957 подано асоціацією *Quercu robori – Pinetum* Matuszkiewicz 1981 [19; 22; 23]. Це термофільні листопадні дубові та дубово-соснові ліси, рослинність яких поширена у східній центральній (51.151551, 29.129648) частині заповідника. Складається ця група із ацидофільних дубових та листопадних лісів на багатих підзолистих ґрунтах. Однією із особливостей дубового лісу цієї асоціації є те, що в його деревостанах масово висаджена робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.). До того ж найпоширенішими видами в асоціації постають конвалія звичайна (*Convallaria majalis* L.), сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.), горобина звичайна (*Sorbus aucuparia* L.), вероніка лікарська (*Veronica officinalis* L.), бруслиця звичайна (*Vaccinium vitis-idaea* L.).

Клас *SALICETEA PURPUREAE* MOOR 1958 представлена двома асоціаціями (*Salicetum albae* Issler 1926 та *Myosotido palustris – Salicetum albae* Shevchyket Solomakha 1996). Обидві асоціації територіально знаходять-

ся у пониженнях [19; 20; 22; 24; 25], що тимчасово підтоплює у весняний період, а саме біля вільхових деревостанів. Головним діагностичним видом цих асоціацій є зростання верби білої (*Salix alba* L.) між сосновим та вільховим деревостанами в заплавах річок.

І наостанок клас, що знаходиться в заповіднику – *ALNETEA GLUTINOSAE* BR.-BL. ET TX. EX WESTHOFF ET AL. 1946 [20; 21; 24]. Останній подано асоціацією *Ribonigri – Alnetum* Solińska-Górnicka (1975) 1987, яка розташована у заплавах річок та характеризується весняним підтопленням. Ґрунти представлені болотним типом. Серед основних видів, за якими можна діагностувати асоціацію, крім вільхи чорної (*Alnus glutinosa* (L.) Gaerth.), також у заповіднику масово зростає комиш лісовий (*Scirpus sylvaticus* L.), очерет звичайний (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud.), кропива дводомна (*Urtica dioica* L.).

ВИСНОВКИ

Територію лісових екосистем, які вкриті лісовою рослинністю землі, що за лісовою типологією розподілені на 18 типів лісорослинних умов згідно з класифікацією Браун-Бланке розподілено на 2 групи рослинності. Перша – Водна та Болотна рослинність, друга – Лісова рослинність. Ці дві групи, своєю чергою, розподілені на 6 класів, 6 порядків та 13 асоціацій. Найчисельнішим класом у Лісовій рослинності є клас *VACCINIO-PICEETEA* BR.-BL. IN BR.-BL. ET AL. 1939, що складається із 6 асоціацій, а найбільшою асоціацією в цьому класі є *Dicrano – Pinetum* Preisinget Knappex Oberd. 1957, яка займає 2/3 площі лісових екосистем. Перспективами подальших наукових досліджень за цим напрямом у лісових екосистемах заповідника є класифікування за Браун-Бланке непокриті лісовою рослинністю лісових земель та нелісові землі. Надалі дослідження будуть спрямовані на складання тематичних карт за групами рослинності, класами, порядками, союзами та асоціаціями із одночасним складанням повного переліку із адаптацією до сучасних змін у структурі земель заповідника.

ЛІТЕРАТУРА

- Орлов, О. О., Конішук, В. В., & Мартиненко, В. В. (2021). Значення рідкісних оселили Європи у збереженні раритетного фіторізноманіття природного заповідника «Древлянський». *Агроекологічний журнал*, 1, 31–41. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2021.227237>.
- Мартиненко, В. В., & Конішук, В. В. (2020). Типологічна характеристика вкритих лісовою рослинністю деревостанів природного заповідника «Древлянський». *Агроекологічний журнал*, 3, 33–40. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2020.211524>.
- Shevchuk, V., Solomakha, I., Goncharenko, I., Maliarenko, V., & Solomakha, V. (2024). Ecological characteristics of rare and endangered species in the Divychyk Emerald Network Area (Central Ukraine). *Studia Biologica*, 18(2), 169–188. DOI: <https://doi.org/10.30970/sbi.1802.765>.
- Konishchuk, V. V., Solomakha, I. V., Dvirna, T. S., Chornobrov, O. Yu., Churilov, A. M., Melnyk O. M., & Solomakha, V. A. (2022). *Jovibarba globifera* (L.) J. Parn. (Crassulaceae) in Ukraine: Population status and ecological-coenotic description. *Wulfenia*, 29, 35–46.
- Соломаха, І. В. (2020). Особливості зростання коручки чемерниковидної (*Epipactis helleborine* (L.) Crantz) у полезахисній лісовій смузі м. Києва. *Агроекологічний журнал*, 4, 33–38. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2020.219443>.
- Никончук, Є. В., Костюк, В. С., & Хом'як, А. К. (2022). Нова знахідка *Sparassis crispa* (Wulfen) Fr 1821 на території Словечансько-Овруцького кряжу. *Український журнал природничих наук*, 2, 5–18. DOI: <https://doi.org/10.35433/naturaljournal.2.2023.5-18>.
- Соломаха, І. В., Конішук В. В., & Чорнобров О. Ю. (2021). *Epipactis helleborine* (L.) Crantz у спонтанних лісових угрупованнях Регіонального ландшафтного парку «Лиса гора» (м. Київ). *Чорноморський ботанічний журнал*, 17(3), 232–241. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2021-17-3-3>.
- Шевчик, В. Л., Соломаха І. В., Безсмертна, О. О., Соломаха, В. А., & Бондаренко, Г. М. (2024). Знахідки *Spinulum annotinum* (L.) A. Haines на лівобережжі Середнього Дніпра (Україна) та можливості їх збереження й охорони. *Чорноморський ботанічний журнал*, 20(1), 91–98. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2024-20-1-5>.
- Khomiak, I. V., Onyshchuk, I. P., Vakerych, M. M., & Hasyne, Y. S. (2024). Adaptation strategies of *Heracleum sosnowskyi* in Ukrainian Polissia. *Bio-system Diversity*, 32(1), 99–106. DOI: <https://doi.org/10.15421/012409>.
- Конякін, С. М., Бурда, Р. І., & Буджак, В. В. (2024). Просторові співвідношення аборигенних і чужорідних видів судинних рослин у лісах на південному заході міста Києва та його околицях. *Український ботанічний журнал*, 81(5), 322–334. DOI: <https://doi.org/10.15407/ukrbotj81.05.322>.
- Shevchuk, V. L., Solomakha, I. V., Tymochko, I. Ya., Dvirna, T. S., Borsukewych, L. M., Iemeljanova, S. M., ... Shevera, M. V. (2022). *Impatiens glandulifera* (Balsaminaceae) in Ukraine: history and distribution, ecological and coenotic peculiarities and invasiveness. *Thaiszia — J. Bot.*, 32(2), 151–178. DOI: <https://doi.org/10.33542/TJB2022-2-04>.
- 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>.
- Кузьмишина, І. І., Кошун, Л. О., & Кошун, Б. Б. (2017). *Фітоценологія та методика викладання фітоценозів у школі: методичні рекомендації до лабораторних занять для студентів біологічного факультету*. Луцьк: Друк ПП Іванюк В.П.
- Солоненко, А. М., & Яровий, С. О. (2012). *Методи ботанічних досліджень: методичні рекомендації до лабораторно-практичних занять*. Мелітополь.
- 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.
- Конішук, В. В. (2014). Продромус синтаксонів *Oxucocco palustris* — *Sphagnetes tagellanic* фітостроми торфових боліт. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*, 11, 177–183.
- Онищенко, В. А., & Андриєнко, Т. Л. (2015). Клас *Oxucocco-Sphagnetes* Br.-Bl. et Tüxen ex Westhoff et al. 1946 в Українських Карпатах. *Український ботанічний журнал*, 72(3), 218–228.
- Konishchuk, V. V. (2009). Phytosociology syntaxon's *Utricularietea*, *Oxucocco-Sphagnetes*, *Scheuchzerio-Caricetea* of peat bogs to Braun-Blanquet system. *Актуальні проблеми ботаніки та екології* (с. 152–153). Тернопіль: підручники і посібники.
- Панченко, С. М. (2013). *Лесная растительность национального природного парка «Деснянско-Староутський»*. Сумы: Университетская книга.
- Давидов, Д. А. (2013). Оцінка синантропізації лісових угруповань Роменсько-Полтавського геоботанічного округу. *Український ботанічний журнал*, 70(5), 630–634.
- Скробала, В. М. (2010). Багатовимірна типологія лісів Українського Розточчя: клас *Alnetea glutinosae* Br.-Bl. et R. Tx. 1943. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету*, 20 (16), 214–217.
- Дідух, Я. П. (Ред.), Фіцайло, Т. В., Коротченко, І. А., Якушенко, Д. М., & Пашкевич, Н. А. (2011). *Біотопи лісової та лісостепової зон України*. Київ: Макрос.
- Лукаш, О. В. (2010). *Флора судинних рослин Східного Полісся: соціологічна оцінка*. Київ: Фітосоціоцентр.
- Кузь, І. А. (2015). *Флора та рослинність боліт Середнього Придністров'я* [Автореф. дис. канд. біол. наук, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка]. Національний репозитарій академічних текстів. Київ. URL: <http://surl.li/maktfv>.
- Цуканова, Г. О. (2005). *Флористичне та ценологічне різноманіття островів Дніпра в межах м. Києва та його охорона* [Автореф. дис. канд. біол. наук, Інститут ботаніки імені М.Г. Холодного]. Національний репозитарій академічних текстів. Київ. URL: <http://surl.li/eqysvc>.

Стаття надійшла до редакції журналу 13.01.2025

БІОЛОГІЧНА ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СОСНОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ПОЛІССЯ

В.В. Мороз¹, Л.М. Тимошенко²

¹Західноукраїнський національний університет (м. Тернопіль, Україна)
e-mail: vera_moroz@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1258-1530

²Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: pion060917@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4648-8307

Дослідження біологічної продуктивності та енергетичного потенціалу соснових деревостанів Полісся України має стратегічне значення в умовах глобальних кліматичних змін та зростаючих енергетичних потреб суспільства. На основі комплексного аналізу 40 тимчасових пробних площ у соснових насадженнях віком 46–120 років встановлено закономірності формування фітомаси, вуглецепоглиняльної здатності та киснепродуктивності деревостанів у різних типах лісорослинних умов. Використано методики ІРСС та І.Я. Лієпі для оцінки екологічних функцій насаджень. Виявлено, що найвищі показники біопродуктивності характерні для насаджень у свіжому сугруді (С2), де за однакових морфометричних параметрів дерева демонструють максимальну вуглецепоглиняльну здатність (158,8 кг) та киснепродуктивність (341,6 кг). Для визначення математичних залежностей між морфометричними характеристиками та фітомасою модельних дерев сосни застосовано регресійний аналіз із використанням степеневих функцій, що дало можливість розробити емпіричні рівняння для прогнозування біопродуктивності насаджень. Встановлено значні регіональні відмінності у розподілі фітомаси, поглинанні вуглецю та продукуванні кисню, з найвищими показниками у Київській обл. Високі показники також зафіксовано у Житомирській та Рівненській обл., що підтверджує їх вагомий внесок у екологічні процеси регіону. Енергетичний потенціал соснових деревостанів варіює залежно від типу лісорослинних умов, досягаючи максимуму (5,7 ГДж) у свіжому сугруді (С2), а найнижчий показник (4,2 ГДж) спостерігається у вологому суборі (В3). Найвищий енергетичний ресурс соснових лісів виявлено у Київській (128736 ГДж), Житомирській (107280 ГДж) та Рівненській (89400 ГДж) обл., що робить ці регіони перспективними для використання біомаси в енергетичних цілях. Дослідження базувалося на аналізі 128 модельних дерев сосни звичайної, розподілених за різними типами лісорослинних умов: свіжий субір (В2) — 35 дерев; вологий субір (В3) — 31 дерево; свіжий сугруд (С2) — 37 дерев; вологий сугруд (С3) — 25 дерев. Такий підхід забезпечив репрезентативність вибірки для комплексного аналізу екологічних функцій соснових насаджень.

Ключові слова: фітомаса, вуглецепоглиняльна здатність, киснепродуктивність, лісорослинні умови, екологічні функції, регіональні особливості, морфометричні параметри, степеневі рівняння, альтернативна енергетика, сталі лісоекосистеми.

ВСТУП

Ліси відіграють ключову роль у глобальному вуглецевому циклі, виконуючи функцію поглинання вуглекислого газу та виробництва кисню. Сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) є одним із основних лісоутворювальних видів в Україні, що має значний вплив на зменшення викидів парникових газів та підтримання екологічної рівноваги. В умовах кліматичних змін та зростаючих енергетичних потреб суспільства, дослідження біологічної продуктивності та

енергетичного потенціалу соснових деревостанів набуває особливої актуальності.

Сучасні дослідження підтверджують, що біопродуктивність соснових лісів залежить від низки чинників, як-от кліматичні умови, тип ґрунту, вік насаджень і рівень антропогенного впливу [1; 2]. Вплив клімату й особливості догляду безпосередньо впливають на продуктивність соснових лісів [3].

Вік насаджень багато важить у формуванні біопродуктивності, переважно молоді дерева мають нижчу продуктивність

через конкуренцію, середньовікові — вищу завдяки оптимізації фотосинтезу, а зрілі досягають максимуму [4–6]. Водночас, кліматичні зміни, зокрема посухи, можуть значно знижувати продуктивність лісових екосистем [2; 7].

Незважаючи на значний обсяг досліджень, питання взаємозв'язку між віковою структурою лісів, їхньою біопродуктивністю та дією кліматичних чинників залишається недостатньо вивченим, особливо в контексті регіональних особливостей Полісся України. Крім того, енергетичний потенціал соснових насаджень як альтернативного джерела енергії потребує детальнішого аналізу з урахуванням локальних екологічних умов.

Метою даного дослідження є оцінка біологічної продуктивності та енергетичного потенціалу соснових деревостанів Полісся України в різних типах лісорослинних умов, а також визначення їх регіональних особливостей. Це дослідження спрямовано на вдосконалення методів оцінки екологічної ефективності лісових насаджень та розробку стратегій збереження і відновлення лісових екосистем в умовах глобальних екологічних викликів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Кліматичні зміни створюють значні виклики для соснових насаджень, впливаючи на їхню біопродуктивність, ріст, продуктивність і здатність до секвестрації вуглецю. Соснові ліси відіграють важливу роль у поглинанні вуглецю, але кліматичні зміни можуть послабити цю здатність.

В Україні оцінка фітомаси соснових лісів є інструментом для прогнозування їхнього розвитку та оптимізації лісгосподарських заходів. П.І. Лакида [4] розробив моделі прогнозування продуктивності залежно від фітофракцій, які актуальні й досі. Сучасні дослідження показують, що біопродуктивність залежить від кліматичних умов, типу ґрунту, віку насаджень і антропогенного навантаження, впливаючи на поглинання вуглецю та формування біомаси [8].

За останні 10 років А. Швиденко та ін. [9] підкреслили потенціал українських лісів у зниженні вуглецевого сліду, а М. Лесів та ін. [10] підтвердили їхню роль у контексті зміни клімату. В. Мороз та Ю. Никитюк [1] зазначили високу вуглецепоглиняльну здатність соснових насаджень Волинського Полісся, тоді як Р. Петраш із співавт. [11] спостерігали залежність щільності біомаси від екологічних умов. Такі вчені, як Д. Квеон і П. Г. Комо [3] в 2023 р. виявили вплив клімату й управління на продуктивність соснових лісів у Південній Кореї, а Т. Ванг та ін. [12] дослідили динаміку продуктивності в Тянь-Шані за річними кільцями.

Вік насаджень має неабияке значення: молоді дерева — нижчу продуктивність через конкуренцію, середньовікові — вищу завдяки фотосинтезу, а зрілі досягають максимуму [4]. Це підтверджують дослідження В. Zhou et al. [5] і Y. Li et al. [6]. Кліматичні зміни, зокрема посухи, зменшують продуктивність, як засвідчили G. Liobikiene et al. [7] та G. Sukhbaatar et al. [2].

Отже, дослідження останніми роками підкреслюють необхідність вивчення біопродуктивності соснових лісів для адаптації до кліматичних змін [4; 13].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для вивчення фітомаси стовбура та крони після складання переліку деревостанів здійснюється відбір модельних дерев. Відбір проводиться методом пропорційно-ступінчастого представництва з урахуванням типу деревостану: у змішаних деревостанах — 5–15 од.; у чистих деревостанах — 3–5 од.

Для оцінки фітомаси використовували показник базисної щільності (ρ_{bas} , кг/м³), який є інформативним і придатним для порівняння. Розрахунок здійснювали за формулою:

$$\rho_{bas} = m_0 / V_{nat}, \quad (1)$$

де m_0 — маса зразка фракції фітомаси в абсолютно сухому стані, кг; V_{nat} — об'єм зразка фракції фітомаси у свіжозрубаному стані, м³.

Фізичний зміст базисної щільності полягає у визначенні маси абсолютно сухої речовини в одиниці об'єму фракції фітомаси. Цей показник не залежить від вологості та слугує перевідним коефіцієнтом для трансформації об'ємних значень фітомаси в одиниці маси. Локальні значення базисної щільності окреслюються для окремих ділянок модельного дерева, після чого розраховуються середні значення для всієї моделі за відповідними алгоритмами.

Вологість фракцій фітомаси визначали в абсолютних (кг) та відносних (%) одиницях як проміжний показник. На основі вологості встановлювали відсоток сухої речовини у свіжозрубаний масі фракції. Відсоток вмісту сухої речовини (S , %) розраховували за формулою:

$$S = \left(1 - \frac{m_{nat} - m_0}{m_{nat}} \right) \times 100, \quad (2)$$

де m_{nat} — маса зразка фракції у свіжозрубаному стані, кг; m_0 — маса зразка фракції в абсолютно сухому стані, кг.

Сушіння зразків здійснювали в сушильній шафі СП-50С за температури 105°C. Вміст сухої речовини є ключовим показником для фракцій крони, об'єм яких оцінюється ваговим методом.

Фітомасу деревини й кори в абсолютно сухому стані визначали за формулою:

$$m = V \times \rho_{bas}, \quad (3)$$

де m — маса зразка фракції фітомаси в абсолютно сухому стані, кг; V — об'єм стовбура зразка, м³; ρ_{bas} — базисна щільність фракції фітомаси, кг/м³.

Об'єм стовбура (V , м³) розраховували за формулою:

$$V = g \times h \times f, \quad (4)$$

де g — площа поперечного перерізу стовбура на висоті 1,3 м, м²; h — висота стовбура дерева, м; f — старе видове число.

Площу поперечного перерізу (g) обчислювали як:

$$g = \frac{\pi \times d^2}{40000}, \quad (5)$$

де π — математична константа (3,14); d — діаметр на висоті 1,3 м, см; h — висота стовбура дерева.

Відсоток об'єму кори формується за нормативними та довідковими таблицями.

Для визначення фітомаси крони використовували «Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси деревостанів головних лісотвірних порід України» (Лакида, 2013) [14]. Отримані дані апроксимували емпіричним рівнянням множинної статистичної алометрії:

$$M = a_0 \times x_1^{a_1} \times x_2^{a_2}, \quad (6)$$

де a_0 , a_1 , a_2 — константи (похідні функції Кобба-Дугласа); x_1 — діаметр стовбура, см; x_2 — висота дерева, м.

Загальна фітомаса дерева (M_{fr}) виражалась як сума фітомаси окремих фракцій:

$$M_{fr} = m_{der} + m_k + m_{kr}, \quad (7)$$

де M_{fr} — загальна фітомаса фракцій дерева, кг; m_{der} — фітомаса деревини, кг; m_k — фітомаса кори, кг; m_{kr} — фітомаса крони, кг.

Фітомаса насадження (т/га) розраховувалась як сумарна фітомаса всіх дерев на одиницю площі.

Запас вуглецю визначали як кількість вуглецю в лісовій екосистемі на певний момент часу (вимірюється в тоннах вуглецю). За методикою ІРСС (2015), частка вуглецю становить 50% від фітомаси в абсолютно сухому стані; для хвої та листків (за Matthews, 1993) — 45% [15].

Оцінку киснепродуктивності проводили за методикою І. Лієпи [16] на основі рівняння фотосинтезу. За методикою коефіцієнт киснепродуктивності приймається як 1,4 т кисню на 1 т абсолютно сухої речовини деревних порід (без урахування фітомаси хвої).

Закладання тимчасових пробних площ здійснювали відповідно до СОУ 02.02.-37-476:206 [17]. Біометричні показники дерев визначали за допомогою висотоміра Forestry Pro та мирної вилки Haglof. Зразки фітомаси зважували в польових умовах, після чого висушували в лабораторії в сушильній шафі СП-50С за 105°C.

Для оцінки біологічної продуктивності враховували якісні характеристики фітомаси: щільність, вологість, вміст сухої речовини, співвідношення між фракціями (наприклад, відсоток кори чи листків).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Тимчасові пробні площі закладалися на території таких установ і організацій: Поліський природний заповідник, Селезівське лісництво; Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва імені П.С. Пастернака; Філія «Чортківське лісове господарство» ДП «Ліси України», Улашківське лісництво; Філія «Ярмолинецьке лісове господарство» ДП «Ліси України»; Національний природний парк «Пуща Радзивіла»; Навчально-науковий інститут лісового і садово-паркового господарства Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП), дослідна станція «Боярська ЛДС».

Закладання пробних площ здійснювалося в соснових насадженнях у різних типах лісорослинних умов. Загалом, було створено 40 пробних площ із сосновими деревостанами. Дослідження охоплювали насадження класів бонітету від 1а до 4 у таких типах лісорослинних умов: свіжий субір (В2); вологий субір (В3); свіжий сугруд (С2); вологий сугруд (С3).

На тимчасових пробних площах вік соснових деревостанів варіював у межах 46–120 років. Висота дерев становила 14–27 м, діаметр на висоті 1,3 м — 20–42 см, відносна повнота насаджень — від 0,51 до 0,90.

Для потреб статистичного та математичного моделювання було відібрано 128 модельних дерев сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.). Розподіл модельних дерев за типами лісорослинних умов був таким: свіжий субір (В2) — 35 дерев; вологий субір (В3) — 31 дерево; свіжий сугруд (С2) — 37 дерев; вологий сугруд (С3) — 25 дерев.

Цей підхід забезпечує репрезентативність вибірки для подальшого аналізу фітомаси та біологічної продуктивності соснових насаджень у різних екологічних умовах.

Для встановлення математичних залежностей між морфометричними характеристиками та фітомасою модельних дерев сосни застосовано регресійний аналіз із використанням степеневих функцій. Обчислення проводилися за допомогою інструментарію аналізу даних Microsoft Excel. Отримані результати систематизовано та подано у табличному форматі.

З метою визначення взаємозв'язків між дендрометричними параметрами (висотою та діаметром) і масою різних компонентів дерев у абсолютно сухому стані здійснено кореляційний аналіз. Для соснових насаджень, що зростають у різних лісорослинних умовах (В2, В3, С2, С3), розроблено кореляційні матриці. Як приклад, нижче наведено кореляційну матрицю для умов свіжого субору (В2) (табл. 1).

Аналіз матриці свідчить про високий рівень кореляційних зв'язків (0,755–0,999) між усіма розглянутими показниками в умовах В2. Аналогічні високі кореляційні залежності встановлено також для умов В3, С2 і С3.

Таблиця 1. Кореляційна матриця парних коефіцієнтів для соснових насаджень у типі лісорослинних умов В2

Показники	Висота, м	Діаметр, см	Фітомаса деревини, кг	Фітомаса кори, кг	Фітомаса крони, кг
Висота, м	1,000	—	—	—	—
Діаметр, см	0,801	1,000	—	—	—
Фітомаса деревини, кг	0,759	0,975	1,000	—	—
Фітомаса кори, кг	0,755	0,973	0,999	1,000	—
Фітомаса крони, кг	0,759	0,975	0,999	0,999	1,000

Таблиця 2. Показники регресійної статистики та дисперсійного аналізу для типу лісорослинних умов В2

Регресійна статистика					
Множинний R			0,999		
Коефіцієнт детермінації R^2			0,997		
Нормований R^2			0,997		
Стандартна помилка			0,014		
Спостереження			155		

Дисперсійний аналіз					
Показники	df (кількість ступенів свободи)	SS (сума квадратів відхилень)	MS (оцінка дисперсії)	F	Значимість F
Регресія	2	9,53	4,76	26082,3	$1,6 \times 10^{-193}$
Залишок	152	0,03	0,00		
Разом	154	9,56			

Показники	Коефіцієнти	Стандартна помилка	t – статистика	P – значення	Нижнє 95%	Верхнє 95%
Y – перетин, y	0,065	0,02	-62,20	$5,1 \times 10^{-110}$	-1,22	-1,15
Мінлива, x_1	1,90	0,02	91,71	$5,6 \times 10^{-135}$	1,86	1,94
Мінлива, x_2	0,68	0,03	25,01	$9,5 \times 10^{-56}$	0,62	0,73

Для виявлення степеневих залежностей між діаметром, висотою та загальною фітомасою дерев проведено регресійний і дисперсійний аналіз за допомогою пакета аналізу даних Microsoft Excel. Результати та аналіз для умов В2 представлено у табл. 2.

На основі отриманих даних побудовано степеневі рівняння загальної фітомаси сосни в різних типах лісорослинних умов (табл. 3).

Одержані рівняння можуть бути використані для подальших досліджень фіто-

маси соснових насаджень у різних лісорослинних умовах.

На основі емпіричних рівнянь (див. табл. 3), методології ІРСС (2015) та підходу І.Я. Лієпі встановлено вуглецепоглиняльну та киснетвірну здатність соснових дерев із середніми морфометричними показниками: діаметр 24 см, висота 34 м (за даними ДП «Ліси України»). Розрахунки виконано для різних типів лісорослинних умов (В2, В3, С2, С3), а результати візуалізовано на діаграмі (рис. 1).

Аналіз засвідчив, що за однакових діаметра та висоти найбільшу вуглецепоглиняльну здатність (158,8 кг) та киснепродуктивність (341,6 кг) демонструють сосни, що зростають у свіжому сугруді (С2). Це свідчить про оптимальність даних умов для накопичення біомаси та фотосинтетичної активності.

Враховуючи продуктивність фітомаси соснових деревостанів за адміністративними областями встановлено обсяги продукування вуглецю та продукування кисню (рис. 2).

Таблиця 3. Рівняння загальної фітомаси модельних дерев

У типах лісу	Формули	Коефіцієнт детермінації
Сосна		
В2	$y=0,065 \times d_1^{1,90} \times h_2^{0,676}$	0,997
В3	$y=0,757 \times d_1^{1,91} \times h_2^{-0,085}$	0,971
С2	$y=0,041 \times d_1^{1,85} \times h_2^{0,879}$	0,999
С3	$y=0,569 \times d_1^{1,50} \times h_2^{0,376}$	0,990

Рисунок чітко демонструє, що найвищі значення за всіма параметрами характерні для Київської обл. У цьому регіоні загальна фітомаса становить 7,2 млн т, поглинання вуглецю — приблизно 3,6 млн т, а продукування кисню сягає майже 9,4 млн т. Високі показники також спостерігаються у Житомирській та Рівненській обл., що вказує на значний внесок цих регіонів у екологічні процеси.

Дослідження фітомаси як альтернативного джерела енергії є актуальним у контексті сучасних енергетичних потреб. Хімічна енергія, накопичена у фітомасі, може бути трансформована у теплову енергію для виробництва електроенергії, тепла чи біопалива (наприклад, етанолу). Енергетичний потенціал (Дж) визначено на основі вмісту енергії в одній тонні вуглецю надземної фітомаси, який, за літературними даними, становить 35,76 ГДж/т ($1 \text{ ГДж} = 10^9 \text{ Дж}$).

Використовуючи емпіричні рівняння (див. табл. 2) та результати попереднього аналізу, розраховано енергетичний потен-

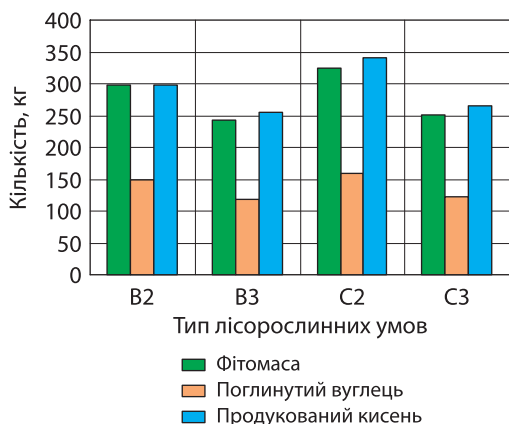


Рис. 1. Розподіл фітомаси, вуглецю та кисню у сосни звичайної в різних типах лісорослинних умов за $d=24 \text{ см}$, $h=34 \text{ м}$

ціал сосни звичайної залежно від лісорослинних умов (рис. 3).

Для соснових деревостанів найвищий енергетичний потенціал (5,7 ГДж) спостерігається у свіжому сугруді (C2), а найнижчий (4,2 ГДж) — у вологому суборі

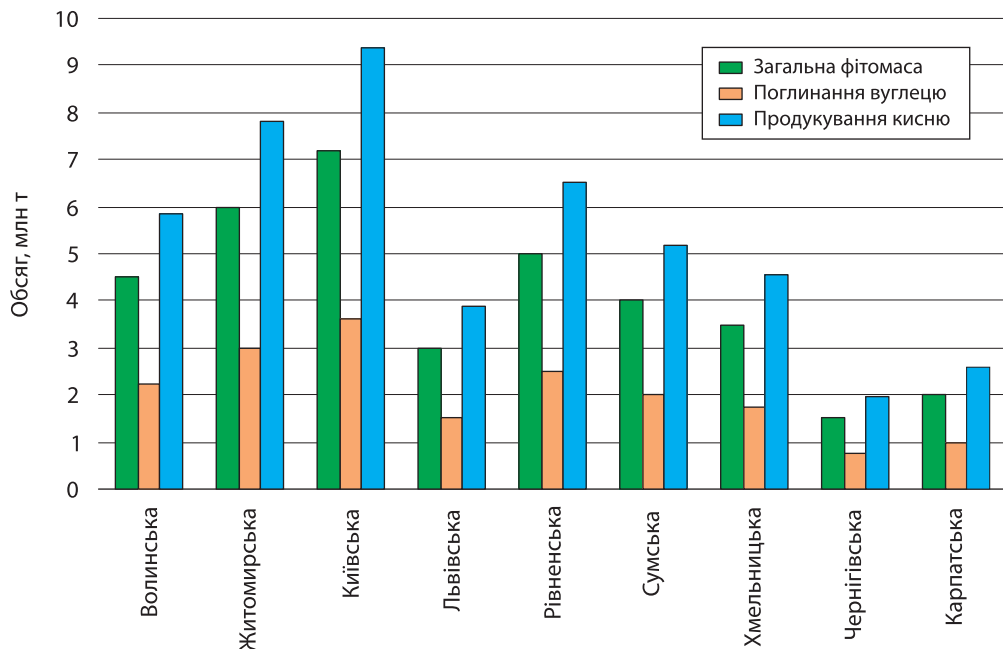


Рис. 2. Поглинання вуглецю та продукування кисню сосновими деревостанами за адміністративними областями

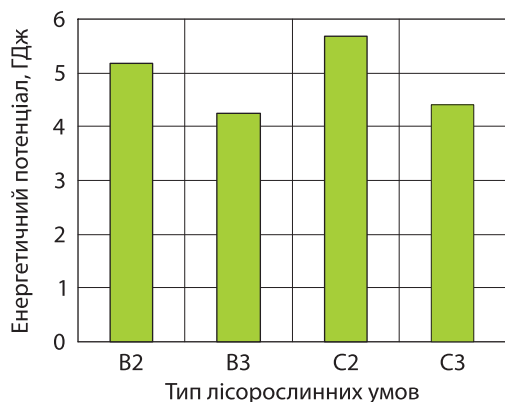


Рис. 3. Порівняння енергетичного потенціалу у соснових деревостанах за типами лісорослинних умов зростання

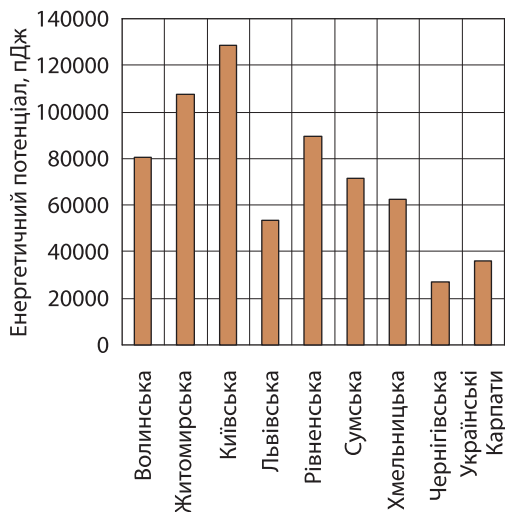


Рис. 4. Енергетичний потенціал соснових деревостанів за адміністративними областями

(B3). Це вказує на сприятливість умов C2 для накопичення енергії в соснових насадженнях, ймовірно, через оптимальні умови росту деревини.

Енергетичний потенціал соснових насаджень за адміністративними областями візуалізовано на діаграмі (рис. 4).

Найвищий енергетичний ресурс соснових лісів зосереджений у Київській

(128736 ГДж), Житомирській (107280) та Рівненській (89400 ГДж) обл. Найменший потенціал зафіксовано у Чернігівській обл. (26820 ГДж) та Українських Карпатах (35760 ГДж), що пояснюється меншими площами соснових насаджень. Регіони з високим потенціалом можуть бути перспективними для використання біомаси (наприклад, у вигляді паливних гранул чи дров) для енергетичних потреб.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що біологічна продуктивність соснових деревостанів Полісся України істотно залежить від типу лісорослинних умов. Найвищі показники фітомаси (317,6 кг), вуглецепоглиняльної здатності (158,8 кг) та киснепродуктивності (341,6 кг) характерні для насаджень у свіжому сугруді (C2) за середніх морфометричних показників дерев (діаметр 24 см, висота 34 м).

Виявлено значні регіональні відмінності у розподілі фітомаси, поглинанні вуглецю та продукуванні кисню сосновими деревостанами. Найвищі показники зафіксовано у Київській (фітомаса — 7,2 млн т, поглинання вуглецю — 3,6, продукування кисню — 9,4 млн т), Житомирській та Рівненській обл.

Оцінка енергетичного потенціалу соснових деревостанів показала, що найвищі значення притаманні для насаджень у свіжому сугруді (C2) — 5,7 ГДж. Найвищий енергетичний ресурс соснових лісів виявлено у Київській (128736 ГДж), Житомирській (107280) та Рівненській (89400 ГДж) обл.

Результати дослідження підкреслюють необхідність диференційованого підходу до управління сосновими лісами з урахуванням типів лісорослинних умов та регіональних особливостей для оптимізації їх екологічних функцій та енергетичного потенціалу.

Отримані дані можуть бути застосовані для вдосконалення методів лісовпорядкування, розробки стратегій адаптації лісового господарства до кліматичних змін та оптимізації використання лісових ресурсів у контексті сталого розвитку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Moroz, V., & Nykytiuk, Y. (2020). Carbon absorption ability of pine forest plantations in Volyn Polissya. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 11(3), 4–14. DOI: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-86-1-61-70>.
2. Sukhbaatar, G., Ganbaatar, B., Jamsran, T., Purevragchaa, B., Nachin, B., & Gradel, A. (2020). Assessment of early survival and growth of planted Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings under extreme continental climate conditions of northern Mongolia. *Journal of Forestry Research*, 31, 13–26. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00935-8>.
3. Kweon, D., & Comeau, P. G. (2023). Factors influencing productivity of pine-dominated stands in South Korea. *Journal of Environmental Management*, 330, 117250. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117250>.
4. Лакида, П. І. (2002). *Фітомаса лісів України*. Тернопіль: Збруч.
5. Zhou, B., Liao, Z., Chen, S., Jia, H., Zhu, J., & Fei, X. (2022). Net primary productivity of forest ecosystems in the southwest karst region from the perspective of carbon neutralization. *Forests*, 13(9), 1367. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13091367>.
6. Li, Y., Nyongesah, M. J., Deng, L., Haider, F. U., Liu, S., Mwangi, B. N., ... Meng, Z. (2023). Clustered tree size analysis of bio-productivity of Dinghushan National Nature Reserve in China. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1118175. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1118175>.
7. Liobikiene, G., Chen, X., Streimikiene, D., & Balezentis, T. (2020). The trends in bioeconomy development in the European Union: Exploiting capacity and productivity measures based on the land footprint approach. *Land Use Policy*, 91, 104375. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104375>.
8. Lorenz, K., & Lal, R. (2010). *Carbon sequestration in forest ecosystems*. Dordrecht: Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3266-9>.
9. Швиденко, А., Лакида, П., Щепашенко, Д., Василишин, Р., & Марчук, Ю. (2014). *Вуглець, клімат та землеуправління в Україні: лісовий сектор*. Корсунь-Шевченківський: ФОП В. М. Гавриленко. URL: https://www.academia.edu/26396819/Вуглець_клімат_та_землеуправління_в_Україні_лісовий_сектор_Carbon_climate_and_land_use_in_Ukraine_Forest_sector.
10. Lesiv, M., Shvidenko, A., Schepaschenko, D., See, L., & Fritz, S. (2019). A spatial assessment of the forest carbon budget for Ukraine. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24, 985–1006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9795-y>.
11. Petráš, R., Mecko, J., Krupová, D., Slamka, M., & Pažitný, A. (2019). Aboveground biomass basic density of softwoods tree species. *Wood Research*, 64(2), 205–212. Retrieved from <https://www.woodresearch.sk/cms/aboveground-biomass-basic-density-of-softwoods-tree-species/>.
12. Wang, T., Bao, A., Xu, W., Zheng, G., Nzabarinda, V., Yu, T., ... Naibi Sulei. (2023). Dynamics of forest net primary productivity based on tree ring reconstruction in the Tianshan Mountains. *Forest Ecology and Management*, 529, 120637. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109713>.
13. Лакида, П. І. (2019). *Стале лісокористування в Україні*. Київ: Вид-во НУБіП України.
14. Лакида, П. І., та ін. (2013). *Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси деревостанів головних лісотвірних порід України*. Корсунь-Шевченківський: ФОП Гавришенко В. М.
15. Matthews, G. (1993). *The carbon contents of trees*. Edinburgh: Forestry Commission.
16. Лиєпа, И. Я. (1980). *Динамика древесных запасов: прогнозирование и экология*. Рига: Зинатне.
17. Мінагрополітики України (2006). СОУ 02.02-37-476:2006. Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання: стандарт Мінагрополітики України. Київ: М-во аграр. політики України.

Стаття надійшла до редакції журналу 27.12.2024

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КАТЕГОРІЙ ЛІСІВ ЗАХОДУ УКРАЇНИ

О.Б. Бондар

Західноукраїнський національний університет (м. Тернопіль, Україна)
e-mail: olexandr.bondar91@gmail.com; ORCID: 0000-0002-3448-8943

У статті проаналізовано розподіл лісів заходу України за функціональними категоріями та адміністративним підпорядкуванням. Дослідження базується на використанні матеріалів лісовпорядкування ВО «Укрдержліспроект» і даних Державного лісового кадастру. Загальна площа лісів у регіоні дослідження сягає близько 4,162 млн га, з яких 18,0% складають ліси природоохоронного, наукового та історико-культурного призначення, 11,4 — рекреаційно-оздоровчі ліси, 15,4 — захисні ліси, а 55,2% — експлуатаційні ліси. Така структура засвідчує багатфункціональне та раціональне використання лісів. Ліси природоохоронного, наукового та історико-культурного призначення найпоширеніші у Чернівецькій (32,8%), Івано-Франківській (22,5) і Закарпатській (18,2%) обл. Ці лісові території є ключовими для підтримання екологічної рівноваги та збереження біорізноманіття, особливо в умовах Карпатського гірського регіону. Рекреаційно-оздоровчі ліси найбільше представлені у Львівській (19,1%), Закарпатській (14,1%) і серед лісів, які не передані у користування (54,2%). Ці насадження відіграють важливу роль у розвитку туристичної та оздоровчої інфраструктури регіону. Захисні ліси Західного регіону мають вирішальне значення у запобіганні ерозійним процесам і збереженні природних ресурсів. Найбільші частки таких лісів у Закарпатській (26,0%) та Івано-Франківській (25,6%) обл. Ліси, підпорядковані Міністерству інфраструктури України та Державному агентству водних ресурсів України, на 100% виконують захисну функцію, що підкреслює їхню екологічну важливість. Експлуатаційні ліси займають провідне місце у рівнинних областях, як-от Рівненська (75,1%) і Хмельницька (49,1%) обл. Ліси, які підпорядковані Державному агентству лісових ресурсів України, на 61,8% використовуються для експлуатаційних потреб, що є основою для розвитку деревообробної промисловості. У гірських регіонах, як-от Івано-Франківська (40,8%) і Закарпатська (41,7%) обл., частка експлуатаційних лісів менша, що свідчить про екологічно орієнтоване використання. Результати аналізу підкреслюють перспективи раціонального управління лісовими ресурсами заходу України, орієнтованого на збалансований розвиток із врахуванням екологічних, соціальних та економічних чинників.

Ключові слова: природоохоронні ліси, рекреаційно-оздоровчі ліси, захисні ліси, експлуатаційні ліси, багатфункціональне використання лісів, сталий розвиток.

ВСТУП

Ліси є однією з ключових складових забезпечення екологічної стабільності, соціально-економічного розвитку [1] та виконання численних екосистемних функцій [2]. Захід України, який охоплює Волинську, Закарпатську, Івано-Франківську, Львівську, Рівненську, Тернопільську, Хмельницьку та Чернівецьку обл., характеризується значною лісистістю та різноманітністю лісових екосистем. Ліси цього регіону відіграють важливу роль у виконанні природоохоронних [3], рекреаційних [4], захисних та експлуатаційних функцій,

що підкреслює їх значущість для збереження природного середовища й розвитку регіональної економіки.

Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 733 від 16.05.2007 р. «Про затвердження Порядку поділу лісів на категорії та виділення особливо захисних лісових ділянок» [5], усі ліси поділяються на чотири основні групи. Ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення виконують охоронну, наукову та естетичну функції, зберігаючи унікальні природні комплекси. Рекреаційно-оздоровчі ліси використовуються для відпочинку, лікування, туризму та занять

спортом. Захисні ліси слугують для захисту екологічної системи, населення та інженерних споруд від негативних впливів. Експлуатаційні ліси забезпечують потреби економіки у деревині та інші ресурси. Поділ лісів за цими категоріями дає можливість ефективно управляти ними, гарантуючи охорону природи та підтримання екологічного балансу.

Багатофункціональність ведення лісового господарства заходу України обумовлює потребу у впровадженні збалансованих підходів до управління лісовими ресурсами. Враховуючи сучасні виклики, якот зростаючий антропогенний тиск, зміна кліматичних умов, необхідність збереження біорізноманіття та раціонального використання лісового потенціалу, актуальність такого аналізу є вкрай високою.

Метою дослідження є проведення комплексного аналізу розподілу лісів заходу України за функціональними категоріями та відомчим підпорядкуванням. Завдання полягає у визначенні особливостей використання природоохоронних, рекреаційних, захисних та експлуатаційних лісів, їхньої ролі в забезпеченні соціально-економічного й екологічного розвитку регіону.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Поділ лісів за функціональним призначенням є основою ефективного лісокористування та управління лісовим господарством. Для визначення стратегій управління кожною конкретною лісовою ділянкою необхідно встановити категорію захисності, що зумовлює відповідний режим лісокористування, зокрема регламентує проведення рубок [6]. Поділ лісів на категорії захисності базується на визначенні основного цільового призначення лісових ділянок, що закріплено діючими Правилами поділу лісів на категорії та виділення особливо захисних лісових ділянок.

Панівна європейська концепція збереження лісового біорізноманіття передбачає виконання кожною лісовою ділянкою множинних екологічних, соціальних та еконо-

мічних функцій [7; 8]. Однак впровадження цієї моделі в Україні є складним через усталену практику [9; 10] використання категорій захисності лісів.

П.І. Лакида, С.А. Ситник, О.О. Кравченко [11] здійснили аналіз категорій лісів та розподілу відомчого впорядкування на території Дніпропетровської обл. Загальна площа лісового фонду області становить 198,6 тис. га, з яких найбільша частина — 78 993,5 га (44,1%), належить до земель державної власності. Переважно це захисні насадження (98%), зокрема полезахисні лісосмуги, що залишаються без балансоутримувача, через що лісогосподарські заходи та охорона не здійснюються. Державному агентству лісових ресурсів України належить 90 750,1 га, з яких 65 673,2 га (72,4%) вкриті лісовою рослинністю, переважно штучного походження. Ці ліси виконують природоохоронні, рекреаційні та захисні функції і не мають промислового значення. До природно-заповідного фонду віднесено 12 952,6 га, рекреаційно-оздоровчі ліси займають 45 841,5 га, захисні — 31 478,5, а ліси наукового та історико-культурного призначення — 477,5 га. Основною проблемою залишається відсутність балансоутримувачів для значної частини лісів, що ускладнює їх ефективне управління.

С.І. Мусієнко зі співавт. [12] дослідили стан соснових насаджень у рекреаційно-оздоровчих лісах Лівобережного Полісся, які займають площу близько 47 тис. га, здебільшого зосереджені в умовах свіжого дубово-соснового субору (55,9%). Переважають середньовікові насадження, що сягають 65,6% за площею та 70,9% за запасом деревини. Більшість сосняків мають І клас бонітету з відносною повнотою 0,7–0,8, яка засвідчує їх добру продуктивність. Однак показник використання лісорослинного потенціалу цих насаджень у зелених зонах навколо населених пунктів становить лише 67%, що є низьким порівняно з високопродуктивними деревостанами регіону. Дослідження підкреслили залежність продуктивності соснових насаджень від їхнього розташування, що слід враховувати

під час планування їх подальшого використання.

Т.В. Кобилинська та Н.Ю. Гусєва [13] здійснили всебічний аналіз лісового господарства України з метою розробки інтегрованої системи обліку лісових ресурсів, яка дає змогу систематизувати взаємодію між економічною діяльністю та лісовими екосистемами. Дослідження охоплює оцінку існуючих статистичних визначень, класифікацій, а також ключових показників лісового господарства. Зокрема, було встановлено, що площа лісового фонду країни становить близько 10,4 млн га, з яких приблизно 73% є державною власністю. Джерелами даних є державна статистична інформація, адміністративні дані профільних органів (зокрема, Держгеокадастру, Держлісагентства, Міндовкілля) та результати національної інвентаризації лісів. Ідентифіковано дві основні категорії суб'єктів господарювання: фізичні особи у формі домашніх господарств та юридичні особи, включно з корпораціями, некомерційними організаціями та державними установами. Запропоновано підходи до вдосконалення системи обліку лісових ресурсів, що забезпечить комплексну інтеграцію екологічних та економічних аспектів управління у контексті ефективного використання лісових екосистем, зокрема шляхом підвищення рівня лісистості до оптимальних 20–25%.

Сучасна структура лісів та їхній поділ за категоріями захисності лісів та різним підпорядкуванням відображає багатофункціональну роль лісів у гарантуванні екологічної й економічної стабільності [14]. Однак для підвищення ефективності управління необхідно вдосконалювати механізми моніторингу та обліку лісів, розширювати інструменти підтримки територіальних громад і користувачів лісів, а також інтегрувати екологічні аспекти в національну політику сталого лісокористування.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для здійснення аналізу категорій лісів у Західному регіоні України використано інформаційні матеріали лісовпорядкуван-

ня ВО «Укрдержліспроект» та відомості Державного лісового кадастру [15]. До Західного регіону належать такі адміністративні області: Волинська, Закарпатська, Івано-Франківська, Львівська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька та Чернівецька.

Створення карти-схеми лісів заходу України виконано за допомогою програмного забезпечення MapInfo Pro v17 із використанням векторної карти України.

Дослідження базувалося на застосуванні низки методів, серед яких статистичний аналіз, порівняння, синтез та узагальнення.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОРОДЖЕННЯ

Розподіл функціональних категорій лісів заходу України демонструє чіткі закономірності. Ліси природоохоронного, наукового та історико-культурного призначення мають найбільші площі в Чернівецькій (32,8%), Івано-Франківській (22,5) та Закарпатській (18,2%) обл. Це зумовлено наявністю значної кількості природоохоронних територій, як-от національні парки, заповідники та об'єкти культурної спадщини. Домінування природоохоронної функції у цих регіонах сприяє збереженню біорізноманіття, особливо в умовах гірського рельєфу, що потребує посиленого захисту від антропогенного впливу (табл. 1).

Рекреаційно-оздоровчі ліси найпоширеніші у Львівській (19,1%) та Закарпатській (14,1%) обл., які мають розвинену туристичну інфраструктуру. Водночас у Хмельницькій (6,1%) і Чернівецькій (6,9%) обл. ця категорія лісів представлена найменше. Це свідчить про те, що регіони з розвиненим туризмом, активно інтегрують лісові ресурси у соціально-економічний розвиток, тоді як регіони з меншою рекреаційною спрямованістю потребують додаткового стимулювання використання лісів для відпочинку.

Захисні ліси відіграють ключову роль у запобіганні ерозійним процесам, особливо в гірських регіонах. Найбільша частка таких лісів спостерігається в Закарпатській

Таблиця 1. Розподіл площ категорій лісів на території заходу України

Область	Ліси природоохоронного, науково-історико-культурного призначення	Рекреаційно-оздоровчі		Захисні		Експлуатаційні		Всього	
		тис. га	%	тис. га	%	тис. га	%	тис. га	%
Волинська	114,3	17,1	51,9	7,8	45,3	6,8	456,9	68,3	668,5
Закарпатська	124,9	18,2	96,9	14,1	179,0	26,0	287,1	41,7	687,9
Івано-Франківська	136,2	22,5	67,6	11,2	154,9	25,6	247,2	40,8	605,9
Львівська	109,6	16,3	128,3	19,1	61,3	9,1	372,5	55,5	671,8
Рівненська	78,3	9,8	66,9	8,4	53,6	6,7	598,5	75,1	797,4
Тернопільська	40,5	20,9	28,9	14,9	50,4	26,0	74,3	38,3	194,1
Хмельницька	60,1	21,4	17,1	6,1	66,0	23,5	138,3	49,1	281,6
Чернівецька	83,9	32,8	17,6	6,9	31,8	12,4	122,1	47,8	255,5
Сума	747,9	18,0	475,3	11,4	642,3	15,4	2297,0	55,2	4162,6

Примітка: за даними Державного лісового кадастру.

(26,0%) та Івано-Франківській (25,6%) обл., де природні умови створюють високий ризик деградації ґрунтів. Це підтверджує домінування захисної функції лісів у регіонах із складним рельєфом і високою чутливістю до стихійних явищ.

Експлуатаційні ліси зосереджені у Рівненській (75,1%) та Хмельницькій (49,1%) обл., що свідчить про значну орієнтацію цих регіонів на економічне використання лісових ресурсів. У той самий час Чернівецька обл. має найменшу частку експлуатаційних лісів (47,8%), що засвідчує екологічну спрямованість. Рівнинні регіони з високою лісистістю переважно орієнтовані на заготівлю деревини, тоді як гірські території приділяють більше уваги екологічним функціям лісів.

Розподіл лісового фонду заходу України демонструє загальний обсяг у 4162564,0 га. Найбільшу частку займають експлуатаційні ліси, які сягають 55,2% загального обсягу (2297004,1 га), що відображає економічну спрямованість лісового господарства. Значний обсяг також припадає на ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення (18,0%, або 747887,3 га), які виконують важливі екологічні функції, спрямовані на збереження біорізноманіття, водних ресурсів та стабільність екосистем.

Рекреаційно-оздоровчі ліси становлять 11,4% від загального обсягу (475333,8 га) і мають значний соціальний потенціал. Ці ліси забезпечують місця для відпочинку, оздоровлення та екологічної освіти, зокрема під управлінням таких органів, як Адміністрація Президента України (2698,6 га) та Міністерство освіти і науки України (8419,1 га). Захисні ліси, площа яких становить 15,4% (642338,9 га), відіграють важливу роль у стабілізації ґрунтів, запобіганні ерозії та захисті водних ресурсів, що є особливо актуальним у контексті сталого природокористування.

Головним користувачем лісового фонду постають Державне агентство лісових ресурсів України, яке управляє 72,3% від загального обсягу (3010785,0 га), Міністерство аграрної політики та продовольства України (10,2%) і органи місцевого самоврядування (9,8%). У структурі фонду також наявні ліси, які не надані у користування (1,2%, або 49716,1 га), що створює резерв для потенційного розвитку природоохоронного, наукового та історико-культурного призначення.

Дані про розподіл деревних порід у регіонах України демонструють істотні регіональні відмінності, що зумовлені географічними, кліматичними та ґрунтовими чинниками (табл. 2, рис. 1). У північних

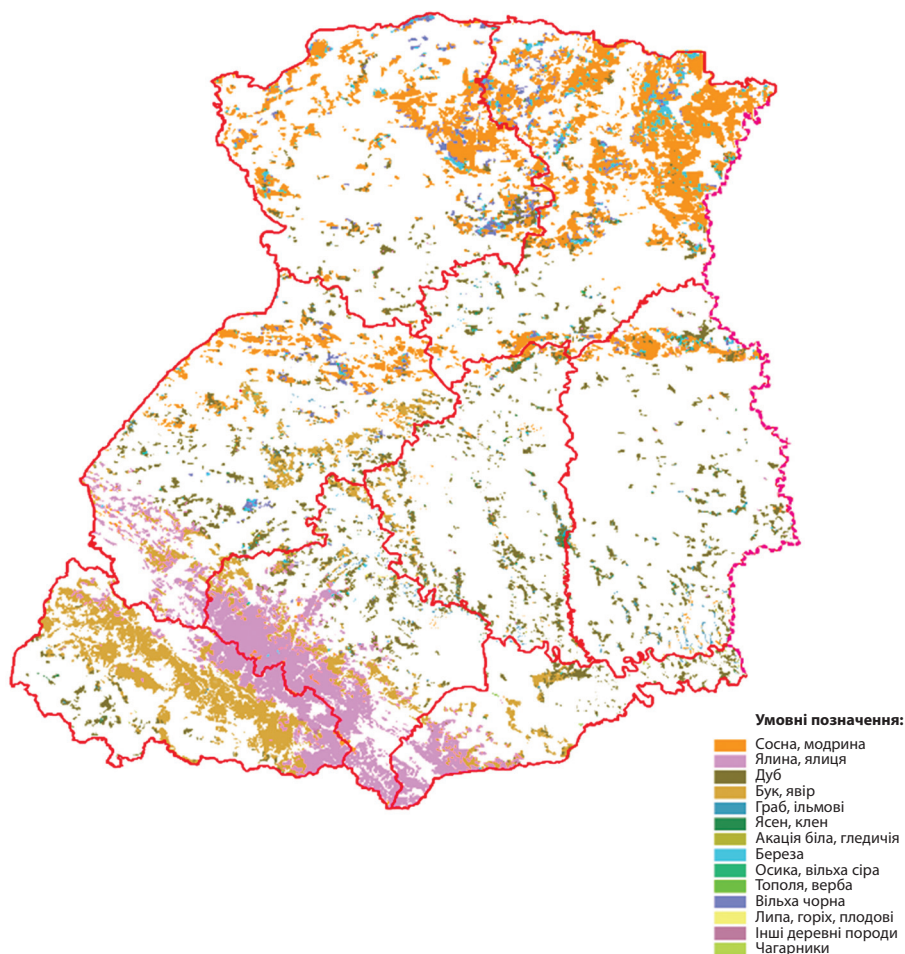


Рис. 1. Схема-карта поширення лісів на території заходу України

Примітка: за даними ВО «Укрдержліспроект».

областях, як-от Волинська та Рівненська, домінують хвойні породи, зокрема сосна, яка займає 46,0% і 54,6% відповідно. Це відповідає поліській зоні, де піщані ґрунти та помірний клімат сприяють поширенню хвойних лісів. Водночас, у північних регіонах частка листяних порід, як-от береза, вільха та тополя, також значна (наприклад, 47,4% у Волинській обл.), що забезпечує різноманітність екосистем.

Гірські регіони, зокрема Закарпатська та Івано-Франківська обл., характеризуються переважанням бука (58,7% у

Закарпатській) та ялини (46,1% у Івано-Франківській). Це пояснюється високою вологістю, прохолодним кліматом та гірським рельєфом, які створюють оптимальні умови для цих порід. Листяні породи у цих регіонах поширені помірно, утворюючи змішані ліси, що збагачують біорізноманіття Карпатського регіону.

У лісостепових регіонах, як-от Хмельницька та Тернопільська обл., превалюють листяні породи (82,2% і 85,3% відповідно), серед яких дуб, ясен, липа та акація. Ці породи пристосовані до родючих ґрунтів і по-

Таблиця 2. Розподіл площ панівних видів дерев за адміністративними областями, %

Адміністративна область	Деревні породи						
	береза, вільха, тополя	бук	граб	дуб	сосна	ялина (ялиця)	ясен, липа, клен, акація
Волинська	47,4	0,1	1,5	3,3	46,0	0,1	1,8
Закарпатська	3,7	58,7	3,5	7,7	0,6	20,5	5,3
Івано-Франківська	6,3	27,4	4,8	8,0	1,1	46,1	6,3
Львівська	20,5	21,8	6,5	9,0	17,9	15,5	8,8
Рівненська	37,1	0,1	2,5	3,3	54,6	0,0	2,4
Тернопільська	16,5	6,1	19,5	18,5	14,5	0,2	24,7
Хмельницька	21,2	0,5	11,4	19,3	17,7	0,0	29,9
Чернівецька	6,7	26,9	8,0	14,3	1,1	32,0	11,0
Всього	22,0	19,3	5,4	8,3	22,3	14,6	8,1

Примітка: за даними Держлісагентства України.

мірного клімату, що характерно для Лісостепу України. Натомість хвойні породи в цих регіонах мають невелику частку (14,7% у Тернопільській обл.), що підтверджує їхню нижчу адаптованість до цих умов.

Загалом, аналіз демонструє чітку регіональну спеціалізацію: хвойні ліси домінують у північних областях, листяні — у лісостепових, а гірські райони характеризуються значною часткою букових та ялинових лісів. Такий розподіл є результатом природних умов і має важливе значення для управління лісовими ресурсами, зокрема їхнього збереження в умовах змін клімату та раціонального використання у регіональній економіці.

Аналіз зазначених даних свідчить про необхідність інтегрованого управління лісовим фондом із дотриманням принципів сталого розвитку (табл. 3).

Забезпечення балансу між економічною експлуатацією, охоронною діяльністю та рекреаційною складовою є важливим для збереження екологічної стабільності.

Розподіл площ лісів Волинської обл. за функціональними категоріями демонструє чітку закономірності залежно від відомчого підпорядкування, що відображає специфіку завдань і пріоритетів кожного відомства. Ліси природоохоронного, наукового та історико-культурного призначення най-

більше представлені у підпорядкуванні Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України (100,0%) та Міністерства культури України (80,2%). Такий розподіл свідчить про значну роль цих лісів у збереженні природного біорізноманіття, національних парків та історичних ландшафтів. Висока частка лісів у цих категоріях також підкреслює вагомість природоохоронних функцій для охорони екологічного балансу Волинського регіону.

Рекреаційно-оздоровчі ліси зосереджені у підпорядкуванні Міністерства регіонального розвитку, будівництва та ЖКГ, Міністерства охорони здоров'я та міських державних адміністрацій, де вони становлять 100,0% від загальної площі лісів. Ці ліси мають значний потенціал для забезпечення потреб місцевого населення у відпочинку та туризмі. Помітним є також те, що ліси, які не надані у користування (84,9%), демонструють високий рекреаційний потенціал, який може бути використаний для розвитку туристичної інфраструктури та підтримки соціального добробуту. Це підкреслює важливість планування раціонального використання цих ресурсів у майбутньому.

Захисні ліси є необхідною складовою для підтримання стабільності екосистем регіону та захисту інфраструктури. Най-

Таблиця 3. Розподіл площ лісів заходу України за функціональними категоріями залежно від відомчого підпорядкування, га

Відомче підпорядкування	Ліси природо-охоронного, наукового, історико-культурного призначення	Рекреаційно-оздоровчі	Захисні	Експлуатаційні
Адміністрація державної прикордонної служби України			141,8	149,0
Адміністрація Президента України		2698,6	5352,1	2293,4
Громадяни, яким надані ліси у власність і користування	0,6	165,0	951,0	433,0
Державна пенітенціарна служба України				514,1
Державне агентство водних ресурсів України			564,3	
Державне агентство лісових ресурсів України	519560,1	376555,1	396742,9	1717926,5
Ліси інших міністерств і відомств	27,3	556,7	332,2	72,6
Ліси, які не надані у користування	381,2	6335,3	28430,1	14569,5
Міністерство аграрної політики та продовольства України	26056,1	39648,2	73141,1	285451,5
Міністерство внутрішніх справ України		2,9		
Міністерство екології та природних ресурсів України	133402,1			
Міністерство енергетики та вугільної промисловості України		0,1		203,7
Міністерство інфраструктури України		40,4	18837,7	25,4
Міністерство культури України	31,3	3,2	64,1	
Міністерство оборони України	19540,5	15334,7	2484,6	46623,6
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України	2234,6	8419,1	424,7	3634,8
Міністерство охорони здоров'я України	358,5	72,3	10,9	
Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України		9,0	9,9	
Міністерство соціальної політики України		13,8	8,4	
Міські державні адміністрації	91,8	617,7	1269,3	33,8
Національна академія аграрних наук України		469,4	323,0	453,4
Органи місцевого самоврядування (ліси державної власності)	46203,2	24038,6	113248,8	224619,8
Органи місцевого самоврядування (ліси комунальної власності)		353,7	2,0	
Загальний підсумок	747887,3	475333,8	642338,9	2297004,1

Примітка: за даними Державного лісового кадастру.

більша частка таких лісів перебуває у підпорядкуванні Міністерства інфраструктури України (98,1%), що забезпечує їх використання для захисту транспортних шляхів, залізниць і доріг від природних негативних впливів, як-от ерозія чи зсуви.

Експлуатаційні ліси, як основа економічного використання лісових ресурсів, мають найбільшу частку в підпорядкуванні органів місцевого самоврядування (81,2%), Національної академії аграрних наук України (73,7%) та Міністерства аграрної політики та продовольства України (74,3%). Ці лісові масиви орієнтовані на постачання сировиною деревообробної промисловості,

будівництва та інших галузей, пов'язаних із лісозаготівлею (табл. 4).

Водночас такий фокус підкреслює важливість розробки збалансованих підходів до управління лісовими ресурсами, які враховуватимуть необхідність збереження екосистемного потенціалу та підтримки соціально-економічного розвитку. Отже, розподіл лісів за функціональними категоріями в Волинській обл. вказує на необхідність комплексного підходу до їх управління для досягнення сталого розвитку регіону.

Розподіл площ лісів Закарпатської обл. за функціональними категоріями значною

Таблиця 4. Розподіл частки площ лісів Волинської обл. за функціональними категоріями залежно від відомчого підпорядкування, %

Підпорядкування	Ліси природо-охоронного, наукового, історико-культурного призначення	Рекреаційно-оздоровчі	Захисні	Експлуатаційні
Міністерство енергетики та вугільної промисловості України	—	—	—	100,0
Міністерство культури України	80,2	19,8	—	—
Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України	—	100,0	—	—
Державне агентство лісових ресурсів України	21,4	7,1	5,8	65,7
Міністерство оборони України	8,0	73,4	1,7	16,9
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України	—	41,2	58,8	—
Міністерство охорони здоров'я України	—	100,0	—	—
Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України	100,0	—	—	—
Міністерство аграрної політики та продовольства України	8,9	10,4	6,4	74,3
Міністерство інфраструктури України	—	1,9	98,1	—
Національна академія аграрних наук України	—	25,3	1,0	73,7
Органи місцевого самоврядування (ліси державної власності)	2,8	4,1	11,8	81,2
Міські державні адміністрації	—	100,0	—	—
Ліси, які не надані у користування	—	84,9	15,1	—
Громадяни, яким надані ліси у власність і користування	—	12,6	53,4	34,0
Ліси інших міністерств і відомств	49,4	43,4	7,2	—

Примітка: за даними Державного лісового кадастру.

мірою залежить від їх відомчого підпорядкування. Ліси природоохоронного, наукового та історико-культурного призначення повністю знаходяться у підпорядкуванні Міністерства екології та природних ресурсів України і Міністерства охорони здоров'я України (100,0%), що свідчить про ключову роль цих відомств у забезпеченні екологічної рівноваги регіону. Однак інші відомства мають лише незначні частки лісів цієї категорії, що свідчить про необхідність їх більшого залучення до природоохоронної діяльності.

Рекреаційно-оздоровчі ліси представлені найбільшою часткою у відомствах, пов'язаних із соціальною інфраструктурою, як-от Міністерство регіонального розвитку, будівництва та ЖКГ, міські державні адміністрації, а також у власності громадян (100,0%). Значний рекреаційний потенціал мають ліси, які не надані у користування (54,2%), що створює перспективи для розвитку туристичної інфраструктури. Це

підкреслює важливість планування і раціонального використання цих лісів для задоволення потреб населення у відпочинку. Значну частку захисних лісів також контролює Міністерство освіти і науки України (58,8%), де ці ресурси можуть використовуватися для навчальних та дослідницьких цілей, зокрема в екологічній і лісознавчій освіті.

Захисні ліси переважно зосереджені у спеціалізованих відомствах, як-от Міністерство інфраструктури України, Державне агентство водних ресурсів України, Адміністрація державної прикордонної служби України та Національна академія аграрних наук України, де вони сягають 100,0%. Така концентрація підкреслює їхню важливість для захисту транспортної інфраструктури, водних ресурсів та екосистем у гірських умовах. Ліси, які не надані у користування, також мають значну частку захисної функції (45,8%), що вказує на їхню екологічну значущість (табл. 5).

Таблиця 5. Розподіл частки площ лісів Закарпатської обл. за функціональними категоріями залежно від відомчого підпорядкування, %

Підпорядкування	Ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення	Рекреаційно-оздоровчі	Захисні	Експлуатаційні
Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України	—	100,0	—	—
Державне агентство лісових ресурсів України	10,3	15,0	30,4	44,3
Міністерство оборони України	—	89,8	2,0	8,2
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України	1,7	22,5	6,6	69,2
Міністерство охорони здоров'я України	100,0	—	—	—
Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України	100,0	—	—	—
Міністерство аграрної політики та продовольства України	1,8	11,8	24,6	61,8
Міністерство інфраструктури України	—	—	100,0	—
Державне агентство водних ресурсів України	—	—	100,0	—
Адміністрація державної прикордонної служби України	—	—	100,0	—

Закінчення таблиці 5

Підпорядкування	Ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення	Рекреаційно-оздоровчі	Захисні	Експлуатаційні
Національна академія аграрних наук України	—	—	100,0	—
Органи місцевого самоврядування (ліси державної власності)	—	0,7	36,1	63,1
Міські державні адміністрації	—	100,0	—	—
Ліси, які не надані у користування	—	54,2	45,8	—
Громадяни, яким надані ліси у власність і користування	—	100,0	—	—
Ліси інших міністерств і відомств	—	100,0	—	—
Органи місцевого самоврядування (ліси комунальної власності)	—	100,0	—	—

Примітка: за даними Державного лісового кадастру.

Експлуатаційні ліси є важливим ресурсом для економічної діяльності регіону, найбільші частки яких перебувають у підпорядкуванні Державного агентства лісових ресурсів України (44,3%), Міністерства аграрної політики та продовольства України (61,8) та органів місцевого самоврядування (63,1%).

Однак така орієнтація на економічне використання потребує збалансованого підходу, що враховує екологічні аспекти, для забезпечення сталого розвитку лісового господарства. Це вимагає інтегрованого управління, яке гармонізує економічні, екологічні та соціальні функції лісів Закарпаття.

Розподіл площ лісів Івано-Франківської обл. за функціональними категоріями залежно від відомчого підпорядкування демонструє різноманітність у використанні лісових ресурсів. Ліси природоохоронного, наукового та історико-культурного призначення сконцентровані в управлінні Міністерства культури України та Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, які повністю орієнтовані на їх збереження (100,0%). Значні частки цих лісів також розташовані у підпорядкуванні Державного агентства лісових ресурсів України (13,8%) і органів місцевого самоврядування (26,4%), що свідчить про важ-

ливість природоохоронних функцій навіть у багатофункціональних структурах.

Рекреаційно-оздоровчі ліси найбільше представлені у Міністерства охорони здоров'я України (100,0%) та Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (99,5%). Це підкреслює їхню значущість для розвитку рекреаційної інфраструктури та гарантування оздоровчих потреб населення. Інші міністерства, такі як Міністерство оборони України та органи місцевого самоврядування, також мають частки лісів цієї категорії, але вони значно менші. Ліси інших міністерств і відомств (80,8%) вказують на значний потенціал для інтеграції цих ресурсів у туристичну галузь (табл. 6).

Захисні ліси сягають 100,0% площ за управління Міністерства інфраструктури України, Державного агентства водних ресурсів України та громадян, яким надані ліси у власність і користування. Це свідчить про їх важливість для захисту водних ресурсів, ґрунтів і транспортної інфраструктури. Ліси, які не надані у користування, мають 99,6% захисних площ, що створює великий резерв для подальшого використання в екологічних цілях.

Експлуатаційні ліси становлять значну частку у Державному агентстві лісових ресурсів України (45,1%), Державній пені-

Таблиця 6. Розподіл площ лісів Івано-Франківської обл. за функціональними категоріями залежно від відомчого підпорядкування, %

Підпорядкування	Ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення	Рекреаційно-оздоровчі	Захисні	Експлуатаційні
Міністерство культури України	100,0	—	—	—
Державне агентство лісових ресурсів України	13,8	12,9	28,2	45,1
Міністерство оборони України	69,8	0,2	0,2	29,8
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України	—	99,5	0,5	—
Міністерство охорони здоров'я України	—	100,0	—	—
Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України	100,0	—	—	—
Міністерство інфраструктури України	—	—	100,0	—
Державне агентство водних ресурсів України	—	—	100,0	—
Державна пенітенціарна служба України	—	—	—	100,0
Органи місцевого самоврядування (ліси державної власності)	26,4	6,8	20,5	46,3
Ліси, які не надані у користування	—	0,3	99,6	—
Громадяни, яким надані ліси у власність і користування	—	0,0	100,0	—
Ліси інших міністерств і відомств	—	80,8	19,2	—
Адміністрація Президента України	—	26,1	51,7	22,2

Примітка: за даними Державного лісового кадастру.

тенціарній службі України (100,0) та органах місцевого самоврядування (46,3%), що вказує на важливість економічної функції лісів для цих установ, орієнтованої на отримання деревини та інших ресурсів.

Ліси Львівської обл. мають різноманітне функціональне призначення, що залежить від відомчого підпорядкування (табл. 7). Ліси природоохоронного, наукового та історико-культурного призначення найбільше представлені у підпорядкуванні Міністерства культури України та Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України (100,0%). Це свідчить про важливу роль цих відомств у збереженні природної спадщини та підтриманні екологічного балансу. Менші частки цих лісів спостерігаються у Державного агентства лісових ресурсів України (18,1%) та Міністерства оборони України (34,3%), що

вказує на багатфункціональність лісового господарства цих структур.

Рекреаційно-оздоровчі ліси домінують у підпорядкуванні Міністерства внутрішніх справ України, Міністерства охорони здоров'я та органів місцевого самоврядування (ліси комунальної власності), де вони сягають 100,0%, 69,4 і 98,7% відповідно.

Це підкреслює їхню значущість для соціального забезпечення та оздоровлення населення. Високі показники рекреаційних лісів у Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (75,8%) також свідчать про їхній потенціал для відпочинку та навчальних цілей.

Захисні ліси найбільше представлені у підпорядкуванні Міністерства інфраструктури України, Державного агентства водних ресурсів України та ліси, які не надані

Таблиця 7. Розподіл площ лісів Львівської обл. за функціональними категоріями залежно від відомчого підпорядкування, %

Підпорядкування	Ліси природо-охоронного, наукового, історико-культурного призначення	Рекреаційно-оздоровчі	Захисні	Експлуатаційні
Міністерство внутрішніх справ України	—	100,0	—	—
Міністерство культури України	100,0	—	—	—
Державне агентство лісових ресурсів України	18,1	22,2	4,4	55,3
Міністерство оборони України	34,3	6,0	2,2	57,5
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України	22,7	75,8	0,4	1,1
Міністерство охорони здоров'я України	30,6	69,4	—	—
Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України	100,0	—	—	—
Міністерство інфраструктури України	—	—	99,9	0,1
Державне агентство водних ресурсів України	—	—	100,0	—
Адміністрація державної прикордонної служби України	—	—	—	100,0
Національна академія аграрних наук України	—	51,1	30,0	18,9
Органи місцевого самоврядування (ліси державної власності)	5,0	9,0	23,4	62,6
Ліси, які не надані у користування	0,1	30,1	28,5	41,4
Громадяни, яким надані ліси у власність і користування	0,6	60,9	31,1	7,4
Ліси інших міністерств і відомств	0,4	1,7	71,7	26,2
Органи місцевого самоврядування (ліси комунальної власності)	—	98,7	1,3	—

Примітка: за даними Державного лісового кадастру.

у користування, де вони сягають 99,9%, 100,0 і 28,5% відповідно. Це відображає їхню важливість у попередженні ерозійних процесів, захисті водних об'єктів і збереженні екологічної рівноваги. Ліси інших міністерств і відомств також мають значний відсоток захисного призначення (71,7%), що вказує на їхню роль у підтриманні природних умов регіону.

Експлуатаційні ліси найбільше зосереджені у підпорядкуванні Державного агентства лісових ресурсів України (55,3%), органів місцевого самоврядування (62,6) та Адміністрації державної прикордонної служби України (100,0%), що засвідчує

їхню значущість для економічної діяльності регіону, зокрема у деревообробній галузі. Водночас такий акцент на економічне використання потребує збалансованого підходу, щоб забезпечити гармонійне співіснування економічних і екологічних функцій лісів Львівської обл.

Ліси Рівненської обл. мають різноманітне функціональне призначення, що залежить від відомчого підпорядкування. Ліси природоохоронного, наукового та історико-культурного призначення повністю зосереджені у підпорядкуванні Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України (100,0%) — це ключова роль у збе-

реженні екологічної рівноваги. Інші відомства, такі як Державне агентство лісових ресурсів України (11,6%) і Міністерство аграрної політики та продовольства України (3,6%), мають незначні частки цих лісів, що вказує на їхню меншу орієнтованість на природоохоронну діяльність.

Рекреаційно-оздоровчі ліси найбільше представлені у підпорядкуванні Міністерства соціальної політики України, міських державних адміністрацій і органів місцевого самоврядування (ліси комунальної власності), де вони займають 100,0% площі. Це підкреслює значущість цих лісів для задоволення соціальних і рекреаційних потреб населення. Високі частки таких лісів також спостерігаються у Міністерства охорони здоров'я України (83,8%) та Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (99,7%), що свідчить про їхній потенціал у сфері оздоровлення та освіти.

Захисні ліси зосереджені переважно у відомствах, які займаються інфраструкту-

рою, такими як Міністерство інфраструктури України та Державне агентство водних ресурсів України, де вони сягають 100,0%. Значна частка захисних лісів також спостерігається серед лісів, які не надані у користування (17,9%) і перебувають у власності громадян (15,6%), що підкреслює їхню роль у попередженні ерозійних процесів і захисті водних об'єктів.

Щодо експлуатаційних лісів — домінують у структурі лісів Державного агентства лісових ресурсів України (74,8%), Міністерства аграрної політики та продовольства України (75,0) та органів місцевого самоврядування (81,4%), що вказує на їхнє економічне значення для регіону, зокрема у деревообробній галузі. Водночас необхідно враховувати екологічні аспекти їх використання, щоб забезпечити сталість розвитку лісового господарства Рівненської обл. (табл. 8).

Щодо лісів Тернопільської обл., то останні мають значну частку природоохорон-

Таблиця 8. Розподіл площ лісів Рівненської обл. за функціональними категоріями залежно від відомчого підпорядкування, %

Підпорядкування	Ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення	Рекреаційно-оздоровчі	Захисні	Експлуатаційні
Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України	—	69,4	30,6	—
Державне агентство лісових ресурсів України	11,6	9,7	3,9	74,8
Міністерство соціальної політики України	—	100,0	—	—
Міністерство оборони України	—	1,1	5,2	93,7
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України	—	99,7	0,3	—
Міністерство охорони здоров'я України	—	83,8	16,2	—
Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України	100,0	—	—	—
Міністерство аграрної політики та продовольства України	3,6	3,5	17,9	75,0
Міністерство інфраструктури України	—	—	100,0	—
Державне агентство водних ресурсів України	—	—	100,0	—

Закінчення таблиці 8

Підпорядкування	Ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення	Рекреаційно-оздоровчі	Захисні	Експлуатаційні
Органи місцевого самоврядування (ліси державної власності)	0,3	1,9	16,4	81,4
Міські державні адміністрації	—	100,0	—	—
Ліси, які не надані у користування	—	0,0	17,9	82,1
Громадяни, яким надані ліси у власність і користування	—	5,2	15,6	79,2
Ліси інших міністерств і відомств	—	50,0	50,0	—
Органи місцевого самоврядування (ліси комунальної власності)	—	100,0	—	—

Примітка: за даними Державного лісового кадастру.

ного, наукового та історико-культурного призначення, здебільшого у відомствах, орієнтованих на збереження екологічної рівноваги. Найвищий відсоток таких лісів спостерігається у підпорядкуванні Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (91,0%) та Державного агентства лісових ресурсів України (26,0%). Це свідчить про спрямованість цих відомств на підтримку природоохоронних функцій та інтеграцію екологічних цілей у лісове господарство.

Рекреаційно-оздоровчі ліси найбільше представлені у підпорядкуванні Міністерства охорони здоров'я України (69,6%) та Державного агентства лісових ресурсів України (17,6%). Їх значення для розвитку рекреаційної інфраструктури підкреслює потребу щодо збереження цих територій і подальшої інтеграції у соціальні проекти. Ліси, що не надані у користування (3,7%), мають потенціал для збільшення їхньої частки у рекреаційному використанні.

Захисні ліси є важливою складовою лісового господарства Тернопільської обл., найбільше зосереджені у підпорядкуванні Міністерства культури України (100,0%), Міністерства інфраструктури України (99,3) та громадян, яким надані ліси у власність і користування (97,9%). Їх концентрація у цих відомствах свідчить про

необхідність запобігання ерозійним процесам та збереження природних екосистем. Висока частка захисних лісів у лісах, які не надані у користування (88,3%), вказує на їх екологічну значущість.

Експлуатаційні ліси переважають у підпорядкуванні Державної пенітенціарної служби України (100,0%), Міністерства оборони України (64,3) та Державного агентства лісових ресурсів України (42,9%). Це засвідчує їхню економічну спрямованість, зокрема на забезпечення сировинних потреб.

Водночас баланс між економічним використанням та екологічними функціями лісів є критично важливим для гарантування сталого розвитку лісового господарства Тернопільської обл. (табл. 9).

Ліси природоохоронного, наукового та історико-культурного призначення в Хмельницькій обл. зосереджені у підпорядкуванні Міністерства культури України та Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, де вони займають 100,0% площі. Значна частка таких лісів також знаходиться під управлінням Державного агентства лісових ресурсів України (23,1%) та органів місцевого самоврядування (20,9%). Це свідчить про необхідність природоохоронної функції лісів у підтриманні екологічного балансу регіону (табл. 10).

Таблиця 9. Розподіл площ лісів Тернопільської обл. за функціональними категоріями залежно від відомчого підпорядкування, %

Підпорядкування	Ліси природо-охоронного, наукового, історико-культурного призначення	Рекреаційно-оздоровчі	Захисні	Експлуатаційні
Міністерство культури України	—	—	100,0	—
Державне агентство лісових ресурсів України	26,0	17,6	13,5	42,9
Міністерство оборони України	—	—	35,7	64,3
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України	91,0	1,7	7,3	—
Міністерство охорони здоров'я України	—	69,6	30,4	—
Міністерство інфраструктури України	—	0,1	99,3	0,6
Державна пенітенціарна служба України	—	—	—	100,0
Органи місцевого самоврядування (ліси державної власності)	1,9	5,8	63,6	28,7
Ліси, які не надані у користування	—	3,7	88,3	8,0
Громадяни, яким надані ліси у власність і користування	—	2,1	97,9	—
Ліси інших міністерств і відомств	23,6	12,7	63,7	0,0

Примітка: за даними Державного лісового кадастру.

Таблиця 10. Розподіл площ лісів Хмельницької обл. за функціональними категоріями залежно від відомчого підпорядкування, %

Підпорядкування	Ліси природо-охоронного, наукового, історико-культурного призначення	Рекреаційно-оздоровчі	Захисні	Експлуатаційні
Міністерство культури України	100,0	—	—	—
Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України	—	31,9	68,1	—
Державне агентство лісових ресурсів України	23,1	7,4	7,7	61,8
Міністерство соціальної політики України	—	100,0	—	—
Міністерство оборони України	—	17,8	8,3	73,9
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України	—	1,0	—	99,0
Міністерство охорони здоров'я України	97,1	2,9	—	—
Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України	100,0	0,0	—	—
Міністерство аграрної політики та продовольства України	—	10,7	84,1	5,2
Міністерство інфраструктури України	—	—	100,0	—

Закінчення таблиці 10

Підпорядкування	Ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення	Рекреаційно-оздоровчі	Захисні	Експлуатаційні
Державне агентство водних ресурсів України	—	—	100,0	—
Державна пенітенціарна служба України	—	—	—	100,0
Органи місцевого самоврядування (ліси державної власності)	20,9	1,8	46,4	30,8
Міські державні адміністрації	4,7	28,7	64,9	1,7
Ліси, які не надані у користування	3,3	1,7	80,0	15,0
Ліси інших міністерств і відомств	1,8	75,7	22,5	—

Примітка: за даними Державного лісового кадастру.

Рекреаційно-оздоровчі ліси здебільшого представлені у підпорядкуванні Міністерства соціальної політики України (100,0%) та інших міністерств і відомств (75,7%). Це підкреслює їх значення для забезпечення соціальних та рекреаційних потреб населення. Менші частки цих лісів спостерігаються у лісах, підпорядкованих Міністерству регіонального розвитку (31,9%) та міським державним адміністраціям (28,7%), що вказує на потенціал для подальшого розвитку рекреаційної інфраструктури.

Захисні ліси в регіоні найбільше подані у підпорядкуванні Міністерства інфраструктури України та Державного агентства водних ресурсів України (100,0% у кожному випадку), а також (84,1%) Міністерства аграрної політики та продовольства України. Їхня концентрація у цих відомствах свідчить про важливість запобігання ерозійним процесам, захисту водних ресурсів та підтримання екологічної стабільності. Висока частка захисних лісів у лісах, які не надані у користування (80,0%), підкреслює їхню екологічну значущість.

Експлуатаційні ліси домінують у підпорядкуванні Державної пенітенціарної служби України (100,0%), Міністерства оборони України (73,9) та Державного агентства лісових ресурсів України (61,8%). Це доводить економічну значущість цих лісів для забезпечення сировинних потреб

і розвитку деревообробної галузі. Однак баланс між експлуатаційною, захисною та рекреаційною функціями лісів є необхідним для забезпечення сталого розвитку лісового господарства Хмельницької обл.

Ліси природоохоронного, наукового та історико-культурного призначення в Чернівецькій обл. найбільше представлені у підпорядкуванні Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України (100,0%), що відображає їхнє ключове завдання у збереженні природної спадщини та гарантуванні екологічної стабільності регіону. Значна частка таких лісів також належить Державному агентству лісових ресурсів України (39,9%) та Міністерству аграрної політики та продовольства України (12,5%), що свідчить про багатофункціональне використання лісів у цих структурах.

Рекреаційно-оздоровчі ліси мають найбільший відсоток у підпорядкуванні Міністерства охорони здоров'я України (100,0%), що вказує на їхнє значення для забезпечення оздоровчих і соціальних потреб населення. Висока частка таких лісів також спостерігається у Міністерства соціальної політики України (57,1%) та органах місцевого самоврядування (19,1%), що підкреслює важливість рекреаційних функцій для підтримання якості життя в регіоні (табл. 11).

Таблиця 11. Розподіл площ лісів Чернівецької обл. за функціональними категоріями залежно від відомчого підпорядкування, %

Підпорядкування	Ліси природо-охоронного, наукового, історико-культурного призначення	Рекреаційно-оздоровчі	Захисні	Експлуатаційні
Державне агентство лісових ресурсів України	39,9	4,2	8,2	47,7
Міністерство соціальної політики України	—	57,1	42,9	0,0
Міністерство оборони України	1,6	17,9	2,4	78,1
Міністерство охорони здоров'я України	—	100,0	—	—
Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України	100,0	—	—	—
Міністерство аграрної політики та продовольства України	12,5	14,0	20,3	53,2
Міністерство інфраструктури України	—	—	100,0	—
Органи місцевого самоврядування (ліси державної власності)	—	19,1	80,9	—
Ліси, які не надані у користування	2,9	0,3	96,8	—
Громадяни, яким надані ліси у власність і користування	—	11,2	88,8	—

Примітка: за даними Державного лісового кадастру.

Захисні ліси здебільшого представлені у підпорядкуванні Міністерства інфраструктури України (100,0%) та лісів, які не надані у користування (96,8%). Це важлива роль цих лісів щодо запобігання ерозійним процесам, захисту водних об'єктів та забезпеченні екологічної рівноваги регіону. Високий відсоток захисних лісів також спостерігається серед лісів, наданих громадянам у власність (88,8%), що підтверджує їхню значущість для підтримання природних екосистем.

Експлуатаційні ліси домінують у структурі лісів Міністерства оборони України (78,1%), Міністерства аграрної політики та продовольства України (53,2%) та Державного агентства лісових ресурсів України (47,7%), що засвідчує їхнє значення для економіки регіону, зокрема у деревообробній галузі. Водночас необхідно забезпечити збалансоване використання експлуатаційних лісів із урахуванням їхніх екологічних функцій, щоб сприяти сталому розвитку лісового господарства Чернівецької обл.

Подальші напрями вдосконалення використання лісів заходу України за категоріями лісів:

1. Розподіл функціональних категорій лісів в областях України демонструє значний потенціал для подальшого розвитку з урахуванням специфіки кожного регіону. Для лісів природоохоронного, наукового та історико-культурного призначення найбільші площі зосереджені в Чернівецькій (32,8%), Івано-Франківській (22,5) та Закарпатській (18,2%) обл. У цих регіонах доцільно сконцентруватися на розширенні охоронних зон, створенні нових національних парків та заповідників, а також впровадженні сучасних технологій моніторингу біорізноманіття. У Хмельницькій (21,4%), Тернопільській (20,9) та Волинській (17,1%) обл. слід підвищувати роль лісів цієї категорії шляхом створення освітніх і туристичних об'єктів природоохоронного значення. Для областей із меншою часткою таких лісів (Рівненська — 9,8%, Львівська — 16,3%) варто спрямувати зусилля

на підвищення обізнаності населення та залучення інвестицій у природоохоронну діяльність.

2. Рекреаційно-оздоровчі ліси найрозвиненіші у Львівській (19,1%), Закарпатській (14,1) та Івано-Франківській (11,2%) обл., оскільки мають добре розвинену туристичну інфраструктуру. Для цих регіонів пріоритетним є вдосконалення систем екологічного менеджменту, зокрема мінімізація антропогенного впливу на лісові екосистеми та створення умов для сталого туризму. Слід розвивати рекреаційні функції лісів через створення екостежок, зон для кемпінгу та інших туристичних об'єктів у Рівненській (8,4%), Хмельницькій (6,1) та Чернівецькій (6,9%) обл. А у Тернопільській обл. (14,9%) варто зосередитися на поширенні рекреаційних зон серед місцевого населення та туристів, а також на залученні громад до управління такими територіями.

3. Захисні ліси відіграють ключову роль у запобіганні ерозійним процесам, особливо в Закарпатській (26,0%), Івано-Франківській (25,6) і Тернопільській (26,0%) обл. У цих регіонах потрібно активізувати зусилля з відновлення деградованих територій, впроваджувати сучасні технології моніторингу стану ґрунтів і посилювати координацію між відомствами для ефективного управління цими лісами. У Хмельницькій (23,5%) та Львівській (9,1%) обл. доцільно розширювати площі захисних лісів, зокрема на територіях із ризиком водної або вітрової ерозії. Щодо Рівненської (6,7%) та Волинської (6,8%) обл. — треба зосередитися на інтеграції захисних функцій лісів у загальний ландшафтний менеджмент, ураховуючи значення цих регіонів для сільського господарства.

4. Експлуатаційні ліси займають найбільші площі в Рівненській (75,1%), Волинській (68,3) і Хмельницькій (49,1%) обл., засвідчуючи значну економічну спрямованість цих регіонів. У них варто впроваджувати сталі методи лісозаготівлі, що мінімізують негативний вплив на довкілля, а також сприяти модернізації деревообробної промисловості. Також у Закарпатській

(41,7%) та Івано-Франківській (40,8%) обл. доцільно гармонізувати економічні функції експлуатаційних лісів із їхньою екологічною роллю через запровадження міжнародних стандартів сертифікації (FSC). У Львівській (55,5%) та Чернівецькій (47,8%) обл. слід розвивати експортний потенціал лісової продукції, дотримуючись принципів екологічної стійкості.

Отже, вдосконалення використання лісів заходу України вимагає врахування специфіки кожного регіону та категорії лісів. Інтеграція екологічних, соціальних і економічних функцій лісів дасть змогу досягти сталого розвитку, зберегти біорізноманіття та покращити якість життя населення. Реалізація запропонованих заходів сприятиме ефективному управлінню лісовими ресурсами та їх раціональному використанню.

Різні користувачі лісів у західних областях України та їхній вплив на ведення лісового господарства і збереження природи. Розподіл лісів за категоріями користувачів на Україні значно варіюється залежно від регіону, що впливає на способи їх використання, ефективність господарювання та охорону природного середовища. Основними користувачами лісів є державні агентства, органи місцевого самоврядування, приватні власники та громадські організації. Їхня діяльність по-різному впливає на збереження екосистем і розвиток регіонів.

1. Державне агентство лісових ресурсів України управляє близько 72,3% загальної площі лісів, що становить понад 3,01 млн га. Його діяльність охоплює експлуатаційні, природоохоронні та захисні ліси. Наприклад, у Рівненській обл. експлуатаційні ліси займають 75,1% (598,5 тис. га), що є найвищим показником серед усіх регіонів. У гірських областях, як-от Івано-Франківська (22,5% природоохоронних лісів) та Закарпатська (18,2%), державні агентства активно впроваджують програми збереження біорізноманіття. Водночас інтенсивна заготівля деревини у північних областях (Волинська — 68,3%, Рівненська — 75,1%) потребує посилення

заходів із лісовідновлення та екологічного контролю.

2. Ліси у віданні органів місцевого самоврядування сягають близько 9,8% загальної площі. Такі ліси активно використовуються для рекреаційних цілей у Хмельницькій обл. (6,1% від загальної площі лісів), сприяючи розвитку місцевого туризму. У Закарпатській обл. комунальні ліси зосереджені на виконанні захисних функцій (26,0%), що є важливим для попередження ерозії в гірських регіонах. Водночас, у Тернопільській обл. (14,9% рекреаційних лісів) недостатня фінансова підтримка обмежує розвиток рекреаційної інфраструктури.

3. Приватні власники та підприємства використовують ліси для комерційної заготовки деревини, розвитку мисливських господарств та рекреації. У Волинській обл. (47,4% берези, вільхи і тополі) та Рівненській (54,6% сосни) приватні підприємства сприяють розвитку деревообробної промисловості, створюючи робочі місця та збільшуючи податкові надходження. У Закарпатській обл. приватні користувачі активно займаються розвитком туристичної інфраструктури. Однак у регіонах із високою часткою природоохоронних лісів, як-от Чернівецька (32,8%), приватна діяльність потребує суворішого екологічного регулювання, щоб запобігти деградації екосистем.

4. Громадські організації відіграють значну роль у західних областях, зокрема у Чернівецькій, Івано-Франківській та Львівській, де вони сконцентровані на охороні природоохоронних лісів і проведенні екологічних акцій. Їхня діяльність включає моніторинг незаконних вирубок, просування екотуризму та реалізацію проєктів сталого лісокористування. Наприклад, у Львівській обл. (19,1% рекреаційних лісів) громадські ініціативи сприяють розвитку екологічного туризму. Однак у регіонах із низькою часткою рекреаційних лісів, як-от Хмельницька (6,1%), вплив громадських організацій обмежується через брак фінансування.

5. Різноманіття користувачів лісів сприяє багатофункціональному їх використанню,

однак також створює виклики щодо узгодження економічних, екологічних та соціальних пріоритетів. У північних областях України (Волинська, Рівненська) слід посилити контроль за інтенсивною експлуатацією лісів, забезпечуючи їхнє відновлення. У гірських регіонах (Закарпатська, Івано-Франківська, Чернівецька) важливо приділити увагу охороні захисних лісів, зокрема через зменшення антропогенного навантаження. У лісостепових регіонах (Тернопільська, Хмельницька) ключовим завданням є розвиток рекреаційної інфраструктури, яка б враховувала екологічну стійкість.

Інтеграція зусиль різних користувачів через партнерства та державні ініціативи дасть змогу забезпечити сталий розвиток лісового господарства. Це сприятиме збереженню екосистем, задоволенню соціальних потреб населення та підвищенню економічної ефективності лісового сектору в регіонах України.

ВИСНОВКИ

На території Західного регіону України загальна площа лісів становить близько 4,162 млн га, з яких 18,0% припадає на ліси з природоохоронною, науковою та історико-культурною призначення, 11,4% — на ліси рекреаційного та оздоровчого призначення, 15,4 — на захисні лісові насадження, і 55,2% — на експлуатаційні ліси. Такий розподіл свідчить про багатофункціональність лісового господарства регіону, але акцентує увагу на необхідності подальшого розвитку природоохоронних та рекреаційних функцій лісів у поєднанні з оптимальним і сталим використанням їхнього лісосировинного потенціалу.

На території заходу України ліси з природоохоронною, науковою та історико-культурною призначення займають значні частку площ, особливо в Чернівецькій (32,8%), Івано-Франківській (22,5) та Закарпатській (18,2%) обл. Ці ліси є основою для збереження природної рівноваги та біорізноманіття, особливо в гірських регіонах Карпат. Підпорядкування таких лісів Міністерству захисту довкілля та природ-

них ресурсів України вказує на зосередженість на природоохоронних завданнях, що вимагає подальшого зміцнення інституційної підтримки.

Рекреаційно-оздоровчі ліси заходу України найбільша часткою представлені у Львівській (19,1% загальної площі лісів), Закарпатській обл. (14,1) та в лісах, які не надані у користування (54,2%). Ці ліси забезпечують туристичний та оздоровчий потенціал регіону, сприяючи соціально-економічному розвитку. Наприклад, ліси підпорядковані Міністерству охорони здоров'я України, де 100% площ задіяно для рекреаційних цілей, що відображає їх важливість для населення.

Захисні ліси заходу України відіграють ключову роль у гірських регіонах, займаючи 26,0% у Закарпатській та 25,6% в Івано-Франківській обл. У підпорядкуванні Міністерства інфраструктури України

та Державного агентства водних ресурсів України ці ліси становлять 100%, що свідчить про їхню важливість для запобігання ерозійним процесам і збереження водних ресурсів. Значна частка захисних лісів також спостерігається у лісах, які не надані у користування (88,3%), що підтверджує їхній екологічний потенціал.

Експлуатаційні ліси заходу України переважають у рівнинних областях, як от Рівненська (75,1%) та Хмельницька (49,1%). У підпорядкуванні Державного агентства лісових ресурсів України 61,8% площ лісів відведено під експлуатацію, що є основою для забезпечення деревообробної галузі. Водночас у гірських областях частка експлуатаційних лісів менша: 40,8% в Івано-Франківській та 41,7% у Закарпатській обл., що підкреслює екологічну спрямованість їхнього використання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Lin, B., & Ullah, S. (2024). Evaluating forest depletion and structural change effects on environmental sustainability in Pakistan: Through the lens of the load capacity factor. *Journal of Environmental Management*, 353, 120174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120174>.
2. Helseth, E. V., Vedeld P., & Gómez-Baggethun, E. (2024). Balancing investments in ecosystem services for sustainable forest governance. *Forest Policy and Economics*, 169, 103364. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2024.103364>.
3. Bondar, O., Teslovych, M., Melnyk, Ye. et. al. (2025). Morphometric features of the relief as a basis for conservation of forest ecosystems of the Transcarpathian region in Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 26(2), 193–204. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/197174>.
4. Bondar, O., & Tsytisura, N. (2021). Recreational and health forests of kremenets district, Ternopil Region. *Balanced nature using*, 2, 80–86. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2021.237994>.
5. Про затвердження Порядку поділу лісів на категорії та виділення особливо захисних лісових ділянок. Постанова Кабінету Міністрів України № 733. (2007). (Україна). URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/733-2007-%D0%BF>.
6. Miu, I. V., Rozyłowicz, L., Popescu, V. D., & Anastasiu, P. (2020). Identification of areas of very high biodiversity value to achieve the EU Biodiversity Strategy for 2030 key commitments. *Peer J.*, e10067. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.10067>.
7. Фурдичко, О. І., & Дребот, О. І. (2021). Питання землеустрою і лісовпорядкування у галузі державного лісівництва в Україні: сучасний стан нормативно-правових актів і напрями їх розвитку. *Збалансоване природокористування*, 4, 1–28. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2021.253088>.
8. Дребот, О. І., Касюхнич, В. Ю., & Васильків, Т. Я. (2023). Стратегічні орієнтири розвитку лісової галузі України в післявоєнний період. *Агроекологічний журнал*, 3, 44–52. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2023.287762>.
9. Дребот, О. І., Фурдичко, О. І., & Яремко, О. П. (2023). Формування еколого-економічних основ збалансованого розвитку лісового сектору. *Збалансоване природокористування*, 4, 5–13. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2023.292743>.
10. Яремко, О. П. (2022). Удосконалення еколого-економічних інструментів збалансованості розвитку лісового сектору Подільського економічного регіону. *Збалансоване природокористування*, 1, 50–55. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2022.237994>.
11. Лакида, П. І., Ситник, С. А., & Кравченко, О. О. (2020). Функціональна діяльність лісгосподарських підприємств Північного Степу України за критеріями сталого розвитку. *Український журнал лісівництва та деревинознавства*, 11(4), 32–46. DOI: <https://doi.org/10.31548/forest2020.04.004>.
12. Мусієнко, С. І., Лук'янець, В. А., Румянцев, М. Г., Тарнопільська, О. М., Кобець, О. В., & Бондаренко, В. В. (2023). Стан соснових насаджень у рекреаційно-оздоровчих лісах Лівобережного Полісся. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 143, 30–39. DOI: <https://doi.org/10.33220/1026-3365.143.2023.30>.
13. Kobylinska, T. V., & Huseva, N. Yu. (2020). A Sta-

- tistical Study of the Forestry in Ukraine. *Statistics of Ukraine*, 2–3, 12–21. DOI: [https://doi.org/10.31767/su.2-3\(89-90\)2020.02-03.02](https://doi.org/10.31767/su.2-3(89-90)2020.02-03.02).
14. Shah, N. W., Baillie, B. R., Bishop, K., Ferraz, S., Hogbom, L., & Nettles, J. (2022). The effects of forest management on water quality. *Forest Ecology and Management*, 522, 120397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120397>.
15. Відомості Державного лісового кадастру. Портал відкритих даних. URL: <https://data.gov.ua/dataset/9990cd12-3f53-42ba-8d4b-c0f333ab6b62/resource/62f65a48-926e-4279-b0a9-8ba6a961526c>.
-

Стаття надійшла до редакції журналу 14.12.2024

МІНЛИВІСТЬ АНАТОМІЧНОЇ БУДОВИ ПАГОНІВ ВИДІВ РОДІВ *SEDUM* L. ТА *HYLOTELEPHIUM* H. ОНВА ЗА РІЗНОГО РІВНЯ ОСВІТЛЕННЯ

Т.Ф. Чипиляк, О.О. Лінкевич

Криворізький ботанічний сад НАН України (м. Кривий Ріг, Україна)

e-mail: chipiljak@i.ua; ORCID: 0000-0003-2193-5350

e-mail: alonalinkevich@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1180-7534

Проведені дослідження видів родів *Sedum* і *Hylotelephium*, які в умовах степової зони України виявляли широкі межі пластичності і є неможливими у вирощуванні. Визначали особливості анатомічної будови пагонів *Hylotelephium ewersii*, *H. spectabile*, *Sedum album*, *S. reflexum* та *S. spurium*, а також у відкритому ґрунті — в умовах різного рівня освітлення: контрольна ділянка — повне освітлення (в сонячний день 39 000–56 500 люкс), тіньова ділянка (в сонячний день 2 500–3 500 люкс). Дослідження рослинних тканин проводили наприкінці травня і наприкінці вересня на бінокулярному мікроскопі XSP-139TP (Китай). Досліджені види об'єднує наявність: корку (*H. ewersii*, *S. spurium*) або кутикули; перидерми; паренхіми; провідної системи; серцевини. Види характеризуються наявністю клітин з антоціанами. Будова провідної системи є видоспецифічною. У видів роду *Hylotelephium* вона представлена майже суцільним тонким кільцем ксилеми і широким кільцем флоеми. У видів роду *Sedum* ксилема формується в 2,4 рази, у *S. album* і *S. reflexum* — достовірно не відрізнялася від сонячних умов. За вирощування рослин в умовах тіні впродовж сезонного розвитку (з травня по вересень) зафіксовано збільшення розмірів покривних тканин у *H. ewersii* і *H. spectabile*, тоді як у *S. album* і *S. spurium* — їх розміри зменшувалися. Результати досліджень будуть сприяти визначенню рівня життєвості видів в урболандшафтах міст Степу України, що на регіональному рівні дасть можливість розробити шляхи підвищення стійкості рослин та збільшити фіторізноманіття за рахунок нових швидкорозростаючих, толерантних до антропогенних впливів видів.

Ключові слова: декоративні очитки, анатомія, вегетативна сфера, світло, тінь.

ВСТУП

Дослідження взаємозв'язків рослин із навколишнім середовищем та їх адаптації до умов існування є особливо актуальним за поєднання негативних наслідків урбанізації і кліматичних змін, що особливо гостро проявляються у великих промислових містах степової зони України. Глобальні зміни клімату, які в цих регіонах пов'язані з підвищенням температур і тривалими посухами, нерідко створюють стресові умови для розвитку багатьох видів рослин [1; 2]. Їх виживання, у відповідь на коливання природних та антропогенних чинників, зумовлено пластичністю рослинного організму, а зміни, які відбуваються

на різних рівнях будови особини носять пристосувальний характер, спрямовані на стабілізацію онтогенетичного розвитку і є переважно фенотипічними [3].

У такому великому місті, як Кривий Ріг, розташованого в одному з найбільших промислових регіонів країни, важливо оновлення асортименту трав'янистих декоративних рослин з урахуванням значного рівня техногенного напруження, що призводить до зниження життєвого рівня та погіршення декоративних характеристик використовуваних видів і культиварів. Особливі проблеми з вибором рослин виникають за реконструкції старих паркових насаджень міста, оскільки на їх територіях, окрім забруднення повітря, рослини за-

знають негативного впливу через затінення та недостатнє зволоження [4]. Натомисть відбір малопоширених у культурі трав'янистих декоративних багаторічних рослин необхідно здійснювати на основі наукового прогнозування їх адаптаційної спроможності та життєздатності в урболандшафтах степової зони України [2; 3]. Різномічне дослідження біології рослин на регіональному рівні дасть можливість розробити шляхи підвищення стійкості рослин та збільшити фіторізноманіття за рахунок нових швидкозростаючих, толерантних до антропогенних впливів видів. Окрім того, результати таких досліджень дають змогу окреслити практичні заходи, спрямовані на зменшення негативного впливу кліматичних змін на функціонування штучних рослинних угруповань.

Використання рослин на затіненій території, значною кількістю яких відрізняються старі парки міста, варто здійснювати насамперед за умов попереднього вивчення їх розвитку за недостатнього освітлення. Такі дослідження у степовій зоні України до цього часу не проводилося. Тому в межах науково-дослідної теми «Життєздатність, декоративність малопоширених багаторічників та їх використання для оптимізації урболандшафтів степової зони України» (05540072.33) було розпочато комплексне дослідження малопоширених у культур-фітоценозах Кривого Рогу представників родів *Sedum* L. та *Hylotelephium* H. Ohba, які за інтродукції в нашому регіоні виявляють широкі межі пластичності [5; 6].

Отже, **мета роботи** — з'ясувати особливості анатомічної будови пагонів окремих видів родів *Hylotelephium* H. Ohba та *Sedum* L. в умовах різного рівня освітленості впродовж сезонного розвитку за інтродукції в Криворізькому ботанічному саду НАН України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

За попередніми дослідженнями [7–9] значна частина представників родини *Crassulaceae* J.St.-Hil. є поліфункціональними багаторічними рослинами, які невимогливі

до умов вирощування. Завдяки роботі селекціонерів роду *Sedum* L., *Hylotelephium* H. Ohba та *Sempervivum* L. поповнилися значною кількістю сортів та форм [10], частина з яких інтродукована на території України, де їх вивченню приділяється значна увага — В.І. Березкіною досліджені біологічні особливості видів роду *Sedum* L. та перспективи їх використання в Україні, а П.М. Воробей з співавт. [11; 12] вивчали анатомічну структуру представників родини *Crassulaceae*. Проведені різнопланові дослідження представників родини дали змогу виявити загальні ознаки анатомічної будови листків, стеблової частини представників роду *Sedum* L. Так, Н.А. Кириленко [13] розкрив таксономічне та еволюційне значення особливостей анатомо-морфологічної будови, а саме будову провідної системи, наявність трихом на поверхні епідерми, вміст та локалізація антоціанових пігментів та крохмальних зерен. Л. Маргітай [14] наводив дані про вміст фотосинтезувальних пігментів у листках рослин родів *Sedum* L. і *Crassula* L. та визначав низький вміст хлорофілів, який свідчить про те, що нормальний ріст і морфогенез представників родини здебільшого потребують доволі високого рівня освітленості.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктами дослідження були рослини *Hylotelephium ewersii* (Ledeb.) H. Ohba, *Hylotelephium spectabile* (Boreau) H. Ohba, *Sedum album* L., *Sedum reflexum* L. та *Sedum spurium* M. Bieb. Дослідження здійснювалися на дослідних ділянках Криворізького ботанічного саду НАН України (далі — КБС), де кліматичні умови є характерними для степової зони, зокрема нестача вологи в повітрі і ґрунті, високі літні температури повітря. За останні 30 років середньорічна температура повітря на Криворіжжі підвищилася і сягає +10,0...+11,5°C (у 1987 р. — +8,5°C). Влітку фіксуються високі добові температури повітря (+36,7...+38,1°C), часті суховії. Річна сума опадів становить 350–450 мм, до того ж упродовж

літа баланс зволоження відзначається дефіцитом — за вегетаційний період випадає лише 100–150 мм опадів [15].

Оскільки досліджувані види відносяться до світлолюбних рослин, нами були закладені ділянки вирощування з різним рівнем освітлення: добре освітлене місце зростання (контрольна ділянка) — рівень освітленості в обідню пору коливався в межах 39 000–56 500 люкс в ясну погоду і 14 500–23 500 люкс у похмурий день; тіньова ділянка — рівень освітленості в обідню пору в ясну погоду сягав 2 500–3 500 люкс, а в похмурий день — 1 200–2 000 люкс. Дослідження проводили у два етапи: наприкінці травня (середньомісячна температура повітря 16,7°C, місячна сума опадів 33,8 мм) та наприкінці вересня (19,5°C та 2,4 мм) [16]. Було використано по 5 особин кожного виду, які вирощувалися у відкритому ґрунті (чорнозем звичайний) за природного рівня вологозабезпечення.

Матеріалом для досліджень слугували препарати однорічних пагонів відібраних із середнього ярусу особини. Тимчасові препарати виготовлялися небезпечною бритвою від руки [17]. Мікроскопічні дослідження робили на бінокулярному мікроскопі XSP-139TP (Китай). Фотографії виконували цифровим фотоапаратом Canon (EOS 350D) встановленому на мікроскопі. Виміри проводились із використанням програми AxioVision 8.0 (Carl Zeiss). Для розрахунку статистичних показників ознак об'єм вибірок становив 50 вимірів для кожної. Статистичну обробку даних здійснювали методами параметричної статистики [18]. Статистичну достовірність різниці між середніми значеннями у вибірках було встановлено на рівні $p < 0,05$, з обрахуванням дисперсії та критерію Стюдента.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

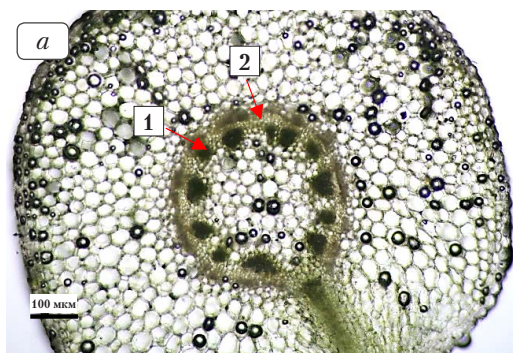
Дослідження анатомічної будови пагону видів *Hylotelephium* та *Sedum* за інтродукції в КБС показало, що пагін рослин складається з основних елементів — первинної кори, шару кутикули, перидерми, паренхіми, яка виконує фотосинтетич-

ну і водозапасну функцію, провідної системи та великокліткової серцевини. Однак аналіз отриманих результатів доводить, що очитки відрізнялися особливостями анатомічної будови пагона.

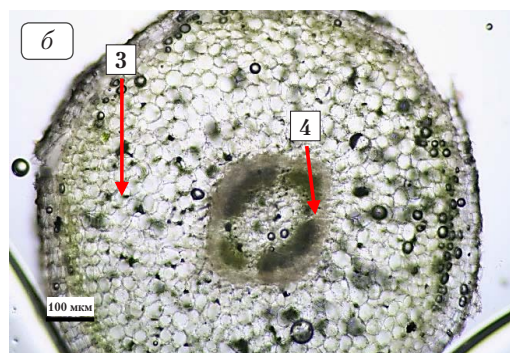
Визначено, що, у рослин *Hylotelephium ewersii* пагін, вкритий багат шаровим шаром корку, під яким формується дво-тришарова перидерма, тоді як поверхня пагона у *H. spectabile* вкрита шаром кутикули і двошаровою перидермою. Паренхімна частина пагона у цих видів слабо диференційована і складається з 5–6 шарів округлих хлорофілоносних клітин різного розміру. Значну частину пагона займає провідна система, яка містить 6–7 (*H. spectabile*) або 6–10 (*H. ewersii*) пучків (променів) ксилеми у вигляді тонкого майже суцільного кільця та зону флоєми, яка утворює суцільне широке кільце з тонких судин (рис.).

Для видів характерна наявність одношарового кільця клітин з антоціанами навколо провідного пучка. Серцевина заповнена хлорофілоносними клітинами різного розміру. За інтродукції в КБС наприкінці вегетаційного сезону в пагонах у серцевині утворюється повітряна пустота та збільшується кількість антоціанів, які зустрічаються не тільки навколо провідної системи, а і в паренхімі. За даними дослідників, їх наявність пов'язана з посиленням захисних функцій організму, завдяки чому забезпечується захист рослини від ушкоджень, викликаних УФ-променями та холодового стресу [19].

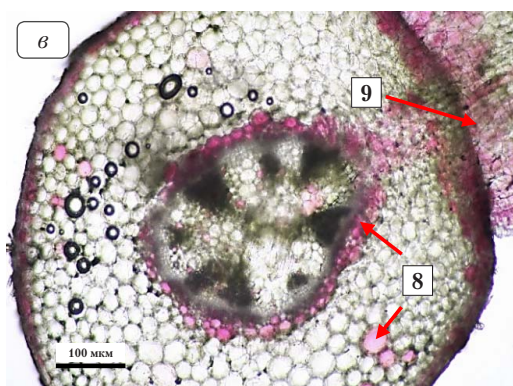
Аналіз кількісних показників анатомічної будови пагона *H. ewersii* впродовж сезонного розвитку показав, що на сонячній ділянці до кінця вересня, відносно травня, в рослинах виду збільшувалися розміри корку в 1,8 раза, перидерми у 2,4 раза та паренхіми у 1,5 раза (табл.). Хочемо відзначити, що перидерма наприкінці сезонного розвитку потовщувалася за рахунок зростання кількості клітинних шарів (до чотирьох), а у клітинах серцевини зменшувалася кількість хлоропластів і клітини переважно виконували водозапасні функції.



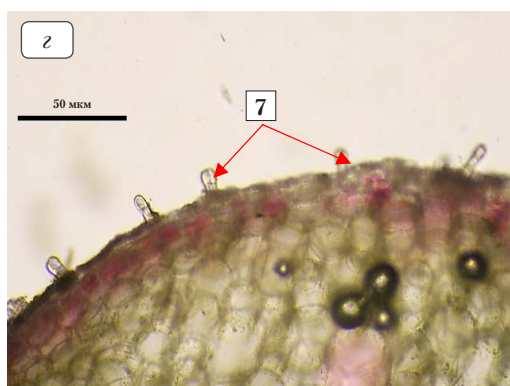
Sedum reflexum L.



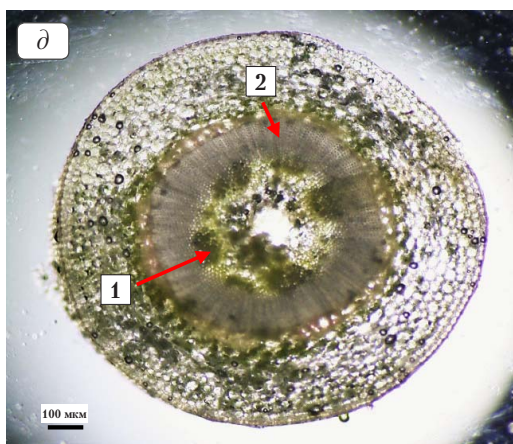
Sedum spurium M. Bieb.



Sedum album L.



Sedum album L.



Hylotelephium spectabile (Boreau) H. Ohba



Hylotelephium ewersii (Ledeb.) H. Ohba

Анатомічна будова пагона рослин видів родів *Hylotelephium* H. Ohba і *Sedum* L. в умовах повного освітлення за інтродукції в Криворізькому ботанічному саду НАН України

Примітки: 1 – ксилема (а, д); 2 – флоема (а, д); 3 – паренхіма (б); 4 – провідний пучок (б); 5 – перидерма (е); 6 – корок (е); 7 – трихоми (г); 8 – клітини з включенням антоціану (в); 9 – місце утворення листової бруньки (в).

Кількісні показники анатомічної будови пагонів рослин видів родів *Hylotelephium* H. Ohba і *Sedum* L. за різного рівня освітленості за інтродукції в Криворізькому ботанічному саду НАН України

Ділянка <i>Світло</i> — в ясну погоду 39 000—56 500 люкс. <i>Тінь</i> — в ясну погоду 2 500—3 500 люкс	Перша декада травня				Остання декада вересня			
	товщина кутикули корку, мкм	товщина перидерми, мкм кількість шарів, шт.	товщина паренхіми, мкм	кількість пучків ксилеми, шт.	товщина кутикули корку, мкм	товщина перидерми, мкм кількість шарів, шт.	товщина паренхіми, мкм	кількість пучків ксилеми, шт.
<i>Hylotelephium ewersii</i> (Ledeb.) H. Ohba								
Світло	$\frac{0}{14,63 \pm 0,21}$	$\frac{27,04 \pm 0,33}{3,0 \pm 1,0}$	$167,05 \pm 3,61$	$4,2 \pm 1,8$	$\frac{0}{25,75 \pm 2,05}$	$\frac{64,25 \pm 0,95}{4,4 \pm 0,6}$	$257,35 \pm 5,47$	$4,6 \pm 1,3$
Тінь	$\frac{0}{5,32 \pm 0,72^*}$	$\frac{20,22 \pm 0,15^*}{2,3 \pm 0,7}$	$134,97 \pm 1,08^*$	$10,2 \pm 0,9^*$	$\frac{0}{8,51 \pm 0,64^*}$	$\frac{25,11 \pm 3,01^*}{2,0 \pm 1,0}$	$190,45 \pm 3,58^*$	$10,5 \pm 1,5^*$
<i>Hylotelephium spectabile</i> (Bureau) H. Ohba								
Світло	$\frac{8,54 \pm 0,57}{0}$	$\frac{38,05 \pm 4,13}{2,1 \pm 0,8}$	$351,42 \pm 13,21$	$7,3 \pm 0,7$	$\frac{6,21 \pm 0,34}{0}$	$\frac{34,68 \pm 2,13}{2,0 \pm 1,0}$	$278,78 \pm 9,14$	$6,6 \pm 0,4$
Тінь	$\frac{4,9 \pm 1,05^*}{0}$	$\frac{12,56 \pm 0,67^*}{1,7 \pm 0,3}$	$324,98 \pm 9,57$	$4,7 \pm 1,2^*$	$\frac{7,28 \pm 2,31}{0}$	$\frac{40,02 \pm 4,36}{2,5 \pm 0,5}$	$249,9 \pm 6,52^*$	$8,1 \pm 0,8$
<i>Sedum album</i> L.								
Світло	$\frac{7,18 \pm 0,24}{0}$	$\frac{19,74 \pm 1,33}{2,3 \pm 0,7}$	$309,83 \pm 0,56$	$8,3 \pm 0,7$	$\frac{8,66 \pm 0,32}{0}$	$\frac{21,63 \pm 3,19}{2,2 \pm 0,8}$	$202,98 \pm 2,78$	$7,5 \pm 1,5$
Тінь	$\frac{6,52 \pm 0,59}{0}$	$\frac{15,2 \pm 0,84^*}{1,5 \pm 0,5}$	$181,98 \pm 3,28^*$	$9,5 \pm 2,5$	$\frac{6,53 \pm 0,45^*}{0}$	$\frac{11,67 \pm 0,81^*}{1,5 \pm 0,4}$	$187,29 \pm 2,79^*$	$8,6 \pm 1,4$
<i>Sedum spurium</i> M. Bieb.								
Світло	$\frac{0}{16,35 \pm 1,63}$	$\frac{39,31 \pm 2,44}{3,4 \pm 1,6}$	$265,21 \pm 7,16$	$8,0 \pm 0,0$	$\frac{0}{10,73 \pm 0,32}$	$\frac{19,01 \pm 4,05}{2,3 \pm 0,7}$	$312,58 \pm 11,47$	$7,5 \pm 1,5$
Тінь	$\frac{0}{7,13 \pm 2,11^*}$	$\frac{33,15 \pm 4,62}{3,4 \pm 1,3}$	$266,65 \pm 2,66$	$4,3 \pm 0,7^*$	$\frac{0}{9,39 \pm 0,95}$	$\frac{19,81 \pm 0,46}{2,1 \pm 1,0}$	$244,56 \pm 13,07^*$	$4,0 \pm 1,9^*$
<i>Sedum reflexum</i> L.								
Світло	$\frac{6,42 \pm 0,52}{0}$	$\frac{20,67 \pm 0,43}{2,5 \pm 0,5}$	$283,49 \pm 1,84$	$11,6 \pm 0,5$	$\frac{11,24 \pm 0,15}{0}$	$\frac{32,76 \pm 1,28}{3,1 \pm 0,6}$	$303,82 \pm 5,64$	$12,0 \pm 0,3$
Тінь	$\frac{6,15 \pm 0,31}{0}$	$\frac{19,67 \pm 2,86}{2,3 \pm 0,6}$	$293,13 \pm 4,89$	$10,3 \pm 0,7$	$\frac{3,52 \pm 0,47^*}{0}$	$\frac{30,15 \pm 3,54}{2,8 \pm 0,3}$	$284,03 \pm 6,11^*$	$10,5 \pm 0,5^*$

Примітка. * — показники достовірно відрізняються з контролем на рівні $p < 0,05$.

В умовах тіньового розвитку впродовж вегетаційного періоду спостерігали аналогічні тенденції розвитку рослин *H. ewersii*, тобто збільшення розмірів корку, перидерми та паренхіми, але з меншою інтенсивністю — перидерми тільки в 1,2 раза. Порівняння абсолютних кількісних показників будови пагона засвідчило, що у рослин цього виду в умовах тіні вони були значно менше, ніж на сонячних ділянках. До того ж вони зменшувалися з травня до вересня, а найінтенсивніше товщина перидерми — у травні вона становила 74,8% на контролі, у вересні — лише 39,1%. Натомість кількість пучків ксилеми в тіні була більшою, ніж на сонячних ділянках, як у травні, так і вересні — в 2,4 раза і 2,3 раза відповідно. На нашу думку, це можна пояснити походженням виду [20], який є світлолюбним мезоксерофітом, росте у верхньому поясі гір, прибережних пісках, а значна кількість судин ксилеми сприяє ефективнішому перерозподілу і використанню води рослиною на затінених ділянках, де ґрунт, зазвичай, недостатньо зволожений.

Аналіз показників анатомічної будови пагона рослин *H. spectabile* за вирощування за різного рівня освітленості виявив, що відбувалися їх різноспрямовані зміни. Так, на сонячній ділянці з травня по вересень зафіксовано зменшення розмірів кутикули та паренхіми у 1,4 раза і 1,2 раза відповідно, до того ж товщина перидерми та кількість пучків ксилеми достовірно не змінювалися (див. *табл.*).

На тіньових ділянках встановлено значне збільшення товщини кутикули (у 1,5 раза) і перидерми (у 3,2 раза) та кількості пучків ксилеми (у 1,7 раза). З'ясовано також, що наприкінці вересня показники будови пагона *H. spectabile* за абсолютними розмірами в тіні перевищували таки на сонці — товщина кутикули в 1,2 раза, кількості пучків ксилеми в 1,3 раза, а товщина перидерми сягала 115,4% від контрольних показників. За літературними даними [21], в природних ареалах вид виявляє себе напівтіньовитривалим і може оселятися на лісових узліссях.

Вивчення видів роду *Sedum* за інтродукції в КБС доводить, що тоді як пагін рослин *S. album* та *S. reflexum* вкритий шаром кутикули, то у *S. spurium* — шаром корку. Крім того, у *S. album* поверхня пагона вкрита булавоподібними волосками — трихомами (див. *рис.*), що сприяє захисту рослин від сильного сонячного опромінення та різких коливань температури характерних для кліматичних умов Степу [22]. У досліджених видів під шаром кутикули/корку наявна дво-тришарова перидерма, а у *S. reflexum* та *S. spurium* значного розміру досягає паренхіма. Провідна система утворена з 10–12 ксилемних променів у *S. reflexum* або з чотирьох ксилемних зон у *S. spurium* (квадрирадіальний пучок), які охоплені тонким флоемним кільцем. Натомість у *S. album* центральна зона складається з 8–10 ксилемних зон променевого типу, розділених флоемними променями. Також вид відрізняється значною кількістю клітин з антоціанами, що особливо помітно в осінній період. Так, виявлені, як окремі включення в паренхімі та клітинах перидерми, так і в клітинах, що кільцем охоплюють провідний пучок. Серцевина пагонів представлена хлорофілоносними клітинами, які варіюють за розміром — від більших у центрі до дрібніших по периметру зони серцевини.

Дослідження кількісних показників анатомічної будови видів роду *Sedum* упродовж вегетаційного сезону за різного освітлення доводить, що відбувалися їх видоспецифічні зміни. На ділянках із достатнім освітленням з травня по вересень у *S. spurium* зафіксовано зменшення товщини корку та перидерми в 1,5 та у 2,1 раза відповідно. Тоді як у *S. album* товщина кутикули збільшувалася в 1,2 раза, а у *S. reflexum* потовщувалася не тільки кутикула у 1,8 раза, а також і перидерма у 1,6 раза (див. *табл.*).

На затінених ділянках у *S. spurium* упродовж сезону також відбувалося зменшення товщини перидерми (у 1,6 раза), тоді як товщина корку достовірно не змінювалася. У рослин *S. reflexum* в тіні, на відміну від сонячної ділянки, зафіксовано зниження

товщини кутикули (у 1,7 раза), але посилення товщини перидерми (у 1,5 раза). В тіньових умовах усі досліджені показники анатомічної будови пагонів, окрім кількості зон ксилеми, у рослин *S. album*, за абсолютною величиною були достовірно меншими. За недостатнього освітлення тільки наприкінці вересня у *S. reflexum* визначено достовірне зменшення, відносно контрольної ділянки, товщини кутикули у 3,2 раза і кількості зон ксилеми у 1,2 раза. Тому, аналіз отриманих результатів мікродослідження пагонів рослин *Hylotelephium ewersii*, *H. spectabile*, *Sedum album*, *S. spurium* і *S. reflexum* свідчить, що можна виділити, як загальні, так і специфічні особливості їх анатомічної будови за вирощування за різного рівня освітлення.

ВИСНОВКИ

Внаслідок вивчення анатомічної будови пагонів, аналізу й узагальненню одержаних результатів, було виявлено, що досліджені види об'єднує наявність основних елементів будови пагона: покривні тканини представлені корком (*H. ewersii*, *S. spurium*) або кутикулою та дво-тришаровою перидермою; паренхімна частина утворена однорідними округлими хлорофільними клітинами різного розміру; провідна система, яка складається з клітин флоєми незначного розміру і судин ксилеми розміщеної радіальними рядами; серцевини нещільно заповненої хлорофілоносними клітинами. Види характеризуються наявністю більшої чи меншої кількості клітин з антоціанами в перидермі, паренхімі і навкруг провідної системи, а рослини *Sedum album* і *S. spurium* відрізняються їх найбільшим вмістом, який зростає наприкінці вегетаційного сезону.

До особливостей можна віднести будову провідної системи. Так, у видів роду *Hylotelephium* вона займає 1/4–1/3 частину від діаметра пагона і представлена майже суцільним тонким кільцем ксилеми і широким кільцем флоєми. Натомість у видів

роду *Sedum* ксилема формується у вигляді окремих променів або зон, які охоплені тонким флоємним кільцем, а у пагоні *S. album* провідна система — це кільце з окремих ділянок ксилеми і флоєми.

Мінливість анатомічної будови пагона за вирощування рослин за різного рівня освітлення переважно виявлялася у зменшенні кількісних показників будови пагона в тіньових умовах розвитку. Так, кількість пучків ксилеми в пагонах *H. ewersii* у тіні в 2,4 раза перевищувала на сонячних ділянках, у *S. album* і *S. reflexum* достовірно не відрізнялася від сонячних умов і тільки у *S. spurium* була меншою майже вдвічі. За вирощування рослин досліджених видів в умовах тіні впродовж сезонного розвитку (з травня по вересень) зафіксовано збільшення розмірів покривних тканин у *H. ewersii* і *H. spectabile*, тоді як у *S. album* і *S. spurium* — їх розміри зменшувалися. З урахуванням того, що досліджені види є світлолюбними, на нашу думку, такі результати підтверджують їх досить високий рівень пластичності, що безумовно пов'язано з різноманіттям екологічних умов, в яких зустрічаються ці види. Особливості та мінливість анатомічної будови пагонів вказують на наявність особливих механізмів виживання рослин в умовах недостатнього освітлення.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень мінливості основних морфолого-анатомічних ознак пагонів *Hylotelephium ewersii*, *H. spectabile*, *Sedum album*, *S. reflexum* і *S. spurium* за вирощування рослин у різних умовах освітленості будуть сприяти визначенню рівня впливу зовнішніх умов на рослини та ступеня життєвості видів в урболандшафтах міста. Комплексне вивчення (фенологічні спостереження, морфологія, анатомія та фізіологія) очитків, які проходять інтродукційне випробування в умовах КБС допоможуть вирішити питання раціонального використання видів і культиварів в умовах культурфітоценозів Степу України.

ЛІТЕРАТУРА

І. Іванюта, С. П., Коломієць, О. О., Малиновська, О. А., & Якушенко, Л. М. (Ред.). (2020). *Зміна клімату:*

наслідки та заходи адаптації: аналітична доповідь. Київ: НІСД.

2. Приходько, М. М. (2013). *Екологічна безпека природних і антропогенно модифікованих геосистем: моногр.* Київ: Центр екологічної освіти та інформації.
3. Bano, Ch., Amist, N., Singh, N. B. (2019). Morphological and anatomical modifications of plants for environmental stresses. In: Roychoudhury, A. & Tripathi, D. (Eds.), *Molecular plant abiotic stress: Biology and biotechnology*. John Wiley & Sons (Vol. 2, pp. 29–45). DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119463665.ch2>.
4. Чипиляк, Т. Ф., Зубровська, О. М., & Шоль Г. Н. (2022). *Рослини в урботехногенному середовищі степової зони України*. Київ: Талком.
5. Зубровська, О. М. (2022). Особливості інтродукції видів роду *Sedum* L. в умовах степової зони України. *Екологічні науки*, 5(44), 191–196. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.28>.
6. Зубровська, О. М., & Чипиляк, Т. Ф. (2023). Особливості сезонного розвитку видів родів *Sedum* L. та *Hylotelephium* H. Ohba в умовах Криворіжжя. *Наукові записки НаУКМА. Біологія і екологія*, 6, 60–67. DOI: <https://doi.org/10.18523/2617-4529.2023.6.60-67>.
7. Perez, G., Chocarro, C., Juárez-Escario, A., & Coma, J. (2019). Evaluation of the development of five *Sedum* species on extensive green roofs in a continental Mediterranean climate. *Urban Forestry & Urban Greening*, 48(2), 126566. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126566>.
8. Ji, P., Sæbø, A., Stovin, V., & Hanslin, H. (2018). *Sedum* root foraging in layered green roof substrates. *Plant Soil*, 430, 263–276. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3729-z>.
9. Koźmińska, A., Al Hassan, M., & Wiszniewska, A. (2018). Responses of succulents to drought: Comparative analysis of four *Sedum* (Crassulaceae) species. *Scientia Horticulturae*, 243, 235–242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.028>.
10. Genera of *Crassulaceae* subfam. *Sedoideae*. (2024). United States Department of Agriculture. Germplasm Resources Information Network Available from: (GRIN). URL: <https://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/gnlist.pl?1764>.
11. Березкіна, В. І. (2003). *Біологічні особливості інтродукованих видів роду Sedum L. (Crassulaceae dc.) та перспективи їх використання в Україні*. [Дис. канд. біол. наук.]. Київський національний університет Тараса Шевченка, Ботанічний сад ім. О.В. Фомина, Київ.
12. Воробей, П. М., Футорна, О. А., Ольшанський, І. Г., Жигалова, С. Л., & Безсмертна, О. О. (2020). Мікроморфологічні ознаки (анатомічна структура листків та стебел, ультраструктура насінин) *Sempervivum globiferum* L. *Екологічні науки*, 1(28), 316–323. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.51>.
13. Кириленко, Н. А. (2016). Особливості анатомо-морфологічної будови *Crassulaceae*, їх таксономічне та еволюційне значення. *Вісник Одеського національного університету. Сер.: Біологія*, 20, 1(36), 37–46. DOI: [https://doi.org/10.18524/2077-1746.2015.1\(36\).56663](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2015.1(36).56663).
14. Маргітай, Л. (2006). Особливості вмісту фотосинтезуючих пігментів у рослин інтродукованих видів родів *Sedum* L. і *Crassula* L. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Сер.: Інтродукція та збереження рослинного різноманіття*, 10, 38–40.
15. Паранько, І. С., Казаков, В. Л., Калініченко, О. О., Коцюруба, В. В., & Остапчук, І. О. (2015). *Фізична географія Криворіжжя: монограф. навч. кн. Кривий Ріг: Вид. Р. А. Козлов*.
16. Архів погоди: аеропорт м. Кривий Ріг. (2023). URL: <https://www.meteoblue.com/uk/weather/forecast/week>.
17. Панюта, О. О., & Ольхович, О. П. (2007). *Анатомія рослин*. Київ: Либідь.
18. Прилуцький, Ю. І., Ільченко, О. В., Цимбалюк, О. В., & Костерін, С. О. (2017). *Статистичні методи в біології: підруч. для студ. ВНЗ*. Київ: Наукова думка.
19. Tena, N., Martín, J., & Asuero, A.G. (2020). State of the art of anthocyanins: Antioxidant activity, sources, bioavailability, and therapeutic effect in human health. *Antioxidants (Basel)*, 9(5), 451. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox9050451>.
20. Gallo, L., & Zika, P. F. (2014). A taxonomic study of *Sedum* series *Rupestris* (Crassulaceae) naturalized in North America. *Phytotaxa*, 175(1), 19–28. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.175.1.2>.
21. Flora of China. (2024). URL: http://www.efloras.org/flora_page.aspx?flora_id=2.
22. Березкіна, В. (2013). Особливості анатомо-морфологічної будови вегетативних органів видів секції *Sedum* роду *Sedum* L. (Crassulaceae DC.). *Modern Phytomorphology*, 4, 299–301.

Стаття надійшла до редакції журналу 20.11.2024

АГРОХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ У СИСТЕМАХ ПОЛЕЗАХИСНИХ ЛІСОВИХ СМУГ І НАСАДЖЕНЬ ОРНО-ПОЛЬОВОГО АГРОЛІСІВНИЦТВА

В.Ю. Юхновський¹, В.М. Хрик², В.М. Малюга¹, О.М. Тупчий³,
С.М. Левандовська², О.С. Ситник²

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України
(м. Київ, Україна)

e-mail: yukhnov@ukr.net, yukhnov@nubip.edu.ua; ORCID: 0000-0003-3182-4347

e-mail: maliuha@nubip.edu.ua; ORCID: 0000-0002-9786-0239

²Білоцерківський національний аграрний університет

(м. Біла Церква, Київська обл., Україна)

e-mail: hvm2020@ukr.net; ORCID: 0000-0003-1912-3476

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

e-mail: sytnykoleksandr24@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2637-1849

³Державний біотехнологічний університет (м. Харків, Україна)

e-mail: olgatypnikola@ukr.net; ORCID: 0000-0002-0545-1877

Полезахисні лісові смуги не тільки впливають на родючість ґрунтів прилеглих територій, але й активізують ґрунтоутворювальний процес у самих насаджених, що і стало предметом дослідження. Воно здійснено на 6 пробних площах попарно розміщених у класичних лісових смугах (КЛС) і смугах, трансформованих у вузькі лінійні насадження орно-польового агролісівництва (ТЛС). Відбір зразків ґрунту проведено через кожні 10 см до глибини 40 см як у лісових смугах, так і на прилеглих полях на відстанях 3 і 10 висот. Визначення агрохімічних властивостей ґрунтів здійснювали у сертифікованій лабораторії за загальноприйнятими у ґрунтознавстві методами. Ґрунти у лісових смугах знаходяться у не порушаному стані, що свідчить про переважання органічної речовини в ґрунті порівняно з орними землями. Запаси гумусу у лісових смугах перевищують аналогічні показники орних земель на 10,7 і 3,4% на віддальх 3Н і 10Н відповідно. Виявлено істотне переважання легкогідролізованого азоту у верхньому 0–10 см горизонті ґрунту у всіх лісових смугах порівняно з його вмістом у нижче лежачих горизонтах. Відмічено значно нижчий вміст азоту у верхньому шарі ґрунту ТЛС порівняно із КЛС. Найбільше накопичення фосфору виявлено у КЛС смугах у верхньому 0–10 см шарі ґрунту, де його запас становив 156,80 мг/кг. У ТЛС уміст фосфору у верхньому шарі ґрунту у всіх випадках на 11,4–14,5% менше порівняно з аналогічним показником КЛС. Значне накопичення фосфору зафіксовано в орному шарі ґрунту на відстанях 3 і 10 висот від лісових смуг, де його вміст коливався від 117,60 до 170,40 мг/кг, що пояснюється нейтральною кислотністю ґрунту та його інтенсивним обробітком. Ґрунти під лісовими смугами характеризуються кислою реакцією ґрунтового розчину, де рН набуває значень від 4,64 до 5,50. Ґрунт нижніх горизонтів лісових смуг виявлено з меншою кислотністю, що є наслідком прискореної мінералізації органічної речовини. Кислотність ґрунту ТЛС істотно відрізняється від кислотності ґрунтів КЛС з трендом її пониження.

Ключові слова: ґрунтоутворювальний процес, родючість, гумус, кислотність ґрунту, азот, фосфор, калій.

ВСТУП

Ґрунти — особливе природне тіло нашої планети, яке утворює унікальну «плівку», що регулює взаємодію важливих компо-

нентів Землі — біосфери, гідросфери й атмосфери. Неоцінене значення ґрунту як субстрату, що забезпечує існування й розвиток тваринного та рослинного світу. Особливу роль відіграють ґрунти агроландшафтів, від родючості яких залежить

продуктивність рослинних угруповань. У цьому сенсі В.В. Докучаєв назвав ґрунт «дзеркалом ландшафту» [1].

Кліматичні зміни впливають на продуктивність агроландшафтів. Як протидію аридизації та пом'якшенню дії клімату, починаючи з кінця ХХ ст., аграрії країн Європейського Союзу застосовують нову форму господарювання — агролісівництво, або так зване змішане землеробство. Очевидно вони прислухалися до висловлення вченого-ґрунтознавця В.В. Докучаєва *«... якщо система землеробства призводить до втрат органічної речовини, збіднення ґрунту, розвитку ерозії, то така система землеробства повинна бути замінена на іншу, яка не дає означених наслідків...»* [2]. У системі агролісівництва провідне місце належить орно-польовому агролісівництву (*silvoarable agroforestry*), яке передбачає створення алейних — одно-дворядних лісових смуг із швидкорослих, енергетичних або плодкових деревних видів із вужчими міжсмуговими полями, на яких вирощуються агрокультури. Зазвичай відстані між смугами становлять від 15–30–60 і навіть до 120 м [3; 4]. Система орно-польового агролісівництва не тільки пом'якшує дію клімату, підвищує врожайність культур, але надає фермерам численні екосистемні послуги: поглинання вуглецю, збереження біорізноманіття, збагачення ґрунту, якості повітря та води й ін. [5].

Нині гостро стоїть питання підвищення меліоративної ефективності полезахисних лісових смуг (ПЛС), які були створені в середині ХХ ст. та здебільшого перебувають у незадовільному стані. Основною причиною такого стану є відсутність своєчасних лісомеліоративних заходів, спрямованих на формування оптимальних конструкцій. За відсутності лісівничого догляду відбувається розростання узлісь на поля, що призводить до збільшення ширини ПЛС.

Переведення існуючих — класичних лісових смуг, утворених у середині ХХ ст., у вузькі трансформовані лісові смуги, співзвучно із часом — появою численних фермерських господарств [6]. Реконструкція КЛС вивільняє площі для агровиробництва

з ефективним використанням присмугових зон. Таку трансформацію можна проводити реконструктивними рубками або рубками догляду [7]. Також існують численні приклади як природного зменшення ширини ПЛС через сільськогосподарські пали, що призводять до випадання узлісних рядів, так і реконструктивних рубок, розширення дорожнього полотна, створення дворядних лінійних насаджень у минулому тощо. Звичайно, у ТЛС проходять зміни параметрів, конструктивних особливостей, компонентів біогеоценозу. Всі ці зміни впливають на ґрунт, вміст поживних речовин, які забезпечують життєдіяльність фітоценозу.

Мета досліджень — проаналізувати родючість і агрохімічні показники ґрунтів у класичних і трансформованих полезахисних лісових смугах і зонах їх впливу на прилеглі угіддя різних агрофонів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У законі України «Про охорону земель» визначено, що всі землі є національним багатством українського народу і об'єктом особливої охорони держави [8]. Одним із першочергових завдань аграрної політики держави є відтворення, охорона й підвищення родючості ґрунтів, їх захист від забруднення та деградації. У цьому контексті вагома роль належить системам ПЛС, які виконують меліоративні, вітрорегулювальні, ґрунтополіпшувальні та інші екологічні функції, що загалом підвищують еколого-економічний потенціал і стійкість агроландшафтів [9–11].

Після створення ПЛС ґрунти під ними постійно перебувають у непорушеному стані. У лісових смугах на відміну від орних земель, не відбувається переміщення верхніх шарів ґрунту. Тут активізуються процеси мінералізації річного опаду і тим самим відбувається поповнення ґрунту поживними речовинами, тобто безперервно функціонує малий кругообіг речовин у системі «ґрунт — лісостан». У полезахисних насадженнях не виносяться поживні речовини з ґрунту, на відміну від прилеглих агрофонів. Тому агрохімічні показ-

ники ґрунту під лісовими смугами і його родючість відрізняються від ґрунтів орних земель [10–12].

За більш ніж піввіковий період проведені численні дослідження впливу ПЛС на родючість прилеглих полів, які узагальнені в монографічних роботах і навчальній літературі [1; 10; 11]. Стосовно родючості та агрохімічного складу ґрунтів безпосередньо під ПЛС існують лише фрагментарні дані [12–14].

Зазначимо дослідження В.П. Шлапака і Н.В. Зворської, здійснені в агрогосподарствах Черкащини, із встановлення запасів поживних речовин у ґрунтах ПЛС різних конструкцій [14]. Дослідники виявили збільшення показників умісту гумусу, рухомого азоту, фосфору та калію в смугах ажурної конструкції. На жаль, порівняльних даних із родючістю ґрунтів захищених полів, які знаходяться під впливом цих насаджень, автори не наводять через відсутність агрохімічних показників орних земель.

Агроекологічний стан ґрунтів під ПЛС Вінниччини аналізувала С.О. Панкова [12], яка дійшла висновку, що за основними показниками родючості ґрунту: вмістом гумусу, легкогідролізованого азоту, рухомого фосфору та обмінного калію досліджувані ґрунти належать до дуже родючих і сприятливих для розвитку дерев лісових смуг. Вченою було проведено групування площ ґрунтів під ПЛС за показниками їх родючості та кислотності у районах їхнього впливу. Зокрема встановлено, що з дуже високим вмістом гумусу у діапазоні понад 5,0% мали ґрунти під 85,7% ПЛС, з підвищеним вмістом гумусу з діапазоном 3,01–4,0% — ґрунти під 14,3% основних ПЛС, що свідчило про високу родючість опідзолених та вилугуваних чорноземів Вінниччини.

Антропогенне навантаження і сільськогосподарський вплив на лісові смуги і агроландшафти Правобережного Лісостепу вивчали О.П. Ткачук, С.О. Панкова [15]. Вчені зазначають, що ґрунти під антропогенним тиском зазнають ерозії, гірше утримують атмосферну вологу, втрачають

родючість і тим самим обмежують ріст і розвиток агрокультур.

Під час досліджень впливу дубових ПЛС на біогенність чорнозему типового С.В. Сидоренко та ін. [13] виокремили особливий режим інтенсивності та спрямованості мікробіологічних процесів у ПЛС порівняно з відкритим полем. Дослідниками встановлено тренд активізації просторової структури мікробного ценозу в напрямку від узлісся смуги і до центру поля. Виявлено сприятливі умови акумуляції органічної речовини за показником мінералізації від лісової смуги на відстань 10Н.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили на об'єктах агролісомеліоративного фонду ДП «Спеціалізоване лісогосподарське підприємство «Київоблагроліс» (рис. 1). Об'єкти досліджень підбирали з таким розрахунком, щоб у агролісомеліоративній системі одного господарства були представлені класичні лісові смуги і трансформовані лінійні насадження з їх меліоративним впливом на однакові агрофони. Закладання пробних площ (ПП) здійснювали із загальноприйнятими в лісовій таксації і лісівництві методами [16].

Всього було закладено шість пробних площ попарно у системах Навчально-дослідного господарства Білоцерківського НАУ (ПП 1 і 4, агрофон — соя), Південного агролісгоспу Маловільшаницької ОТГ Білоцерківського р-ну (ПП 2 і 5, агрофон — кукурудза) і Центрального агролісгоспу Глевахівської ОТГ Фастівського р-ну (ПП 3 і 6, агрофон — ріпак) Київської обл.

Всі полезахисні лісові смуги ростуть на сірих лісових ґрунтах суглинистого гранулометричного складу.

Тип лісорослинних умов — свіжа діброва (Д2), а тип лісу — свіжа грабова діброва (Д2ГД). Лісомеліоративні та параметричні показники полезахисних насаджень наведено у *табл. 1*.

Упродовж 2023–2024 рр. здійснено відбір ґрунтових зразків для дослідження агрохімічного складу ґрунтів в КЛС і ТЛС



Рис. 1. Картосхема ДП «Спеціалізоване лісгосподарське підприємство «Київоблагроліс»

Таблиця 1. Лісомеліоративні показники полезахисних лісових смуг за даними пробних площ

Номер ПП	Склад	Вік, років	Висота, м	Діаметр, см	Ширина смуги (м) з урахуванням			Кількість рядів	Конструкція	Повнота	Клас бонітету
					край-ніх рядів	закра-їн	проек-цій крон				
Полезахисні лісові смуги, створені в 50-роках ХХ ст.											
1	4Дчр6Клг	70	24,4	36,4	12,5	15,0	25,0	5	Щільна	0,72	I
2	10Дз+Язл+Кля	67	26,0	37,2	10,0	15,0	24,0	3	Ажурна	0,74	Ia
3	10Дз	73	18,6	34,4	10,0	15,0	26,0	3	Щільна	0,87	II
Полезахисні лісові смуги, трансформовані в лінійні насадження системи орно-польового агролісівництва											
4	8Дз2Язл	63	23,7	36,5	10,0	12,5	21,0	4	Продувна	0,51	I
5	10Дз+Язл+Брс	62	18,3	34,4	7,5	10,0	16,0	4	Продувна	0,62	II
6	5Клг2Т2Яв1Вб	55	15,9	28,6	3,0	6,0	8,4	2	Продувна	0,57	II

і на прилеглих полях у зоні впливу лінійних насаджень 3Н і 10Н, що відповідає відстаням 50–60 і 150–200 м відповідно. Виконання польових досліджень ґрунтів здійснювали згідно з прийнятими методами, інструкціями і методичними вказів-

ками [7; 16]. Ґрунтові зразки відбиралися з використання відбірника ґрунту [17]. Відбір зразків проводили через кожні 10 см до глибини 40 см (рис. 2).

Визначення агрохімічних властивостей ґрунтів робили у сертифікований вимірю-



Рис. 2. Відбір зразків ґрунту в лісовій смузі (а) і у зоні впливу полезахисного насадження (б)

вальної лабораторії Державної установи «Інститут охорони ґрунтів України».

Органічну речовину (загальний гумус) встановлювали за методом Тюрина у модифікації Сімакова [18]. Рухомі сполуки фосфору і калію виявляли за модифікованим методом Чирикова [19], легкогідролізований азот — методом Корнфілда [20], а гідролітичну кислотність — за ДСТУ 10390:2007 [21].

Математико-статистичне опрацювання результатів досліджень проводили за допомогою програмних пакетів MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За даними лабораторних досліджень було отримано агрохімічні результати ґрунтових зразків, які подані у *табл. 2*.

Гумус — важлива складова ґрунту, яка містить необхідні для живлення рослини

мікроелементи і поживні речовини [2; 8]. Від умісту гумусу в ґрунті залежить його водний, тепловий і повітряний режими, гранулометричний склад, структура та біологічна активність. Він акумулює поживні речовини, що звільняються під час мінералізації органічних решток. Необхідними умовами гумусоутворення є безперервне надходження органічних решток, а також їх мікробіологічна трансформація.

Цінною властивістю гумусу є утримання вологи, що має важливе значення для функціонування рослин під час аридизації територій.

Найбільша частка гумусу зазвичай міститься у верхньому шарі ґрунту і залежно від типу ґрунту його відсотковий вміст варіює від кількох десятків відсотків до 10–15%. Власне нормальне живлення рослин на 80–90% забезпечує гумус. Процес утворення гумусу відбувається розкладанням

Таблиця 2. Агрохімічні показники ґрунту в позахисних лісових смугах і зонах їх впливу на прилеглі угіддя

Місце взяття зразка	Шар ґрунту, см	Гідролітична кислотність, (мг·екв ⁻¹)/100 г ґрунту	Гумус, %	Лужно-гідролізований азот, мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
					за Чириковим)	
ПП 1 – КЛС; склад – 4Дчр6Клг; вік – 70 років; конструкція – щільна; агрофон – соя						
У лісовій смузі	0–10	6,47	3,38	156,80	89	90
	10–40	5,47	3,20	120,40	89	56
На відстані 3Н	10–40	5,14	3,02	117,60	89	58
На відстані 10Н	10–40	5,46	3,26	117,6	89	166
ПП 4 – ТЛС; склад – 8Дз2Язл; вік – 63 років; конструкція – продувна; агрофон – соя						
У лісовій смузі	0–10	5,50	3,15	137,20	95	76
	10–40	5,56	3,38	120,40	89	51
На відстані 3Н	10–40	6,98	3,36	128,80	89	57
На відстані 10Н	10–40	7,03	4,15	156,80	89	122
ПП 2 – КЛС; склад – 10Дз+Язл+Кля; вік – 67 років; конструкція – ажурна; агрофон – кукурудза						
У лісовій смузі	0–10	4,93	3,15	114,80	125	76
	10–40	4,97	2,28	98,00	106	36
На відстані 3Н	10–40	6,39	3,85	162,40	106	189
На відстані 10Н	10–40	7,12	4,11	170,40	106	194

Закінчення таблиці 2

Місце взяття зразка	Шар ґрунту, см	Гідролітична кислотність, (мг-екв ⁻¹)/100 г ґрунту	Гумус, %	Лужно-гідролізований азот, мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
					за Чириковим)	
ПП 5 – ТЛС; склад – 10Дз+Язл+Брс; вік – 62 роки; конструкція – продувна; агрофон – кукурудза						
У лісовій смузі	0–10	4,52	3,07	101,30	120	64
	10–40	4,64	2,94	80,70	106	48
На відстані 3Н	10–40	6,40	3,16	150,40	106	99
На відстані 10Н	10–40	7,01	3,87	164,10	106	124
ПП 3 – КЛС; склад – 10Дз; вік – 73 роки; конструкція – щільна; агрофон – ріпак						
У лісовій смузі	0–10	5,02	3,77	148,60	90	87
	10–40	5,18	3,44	132,30	90	65
На відстані 3Н	10–40	6,82	3,18	114,40	90	120
На відстані 10Н	10–40	7,10	3,48	143,10	90	144
ПП 6 – ТЛС; склад – 5Клз2Т2Яв1Вб; вік – 55 років; конструкція – продувна; агрофон – ріпак						
У лісовій смузі	0–10	4,67	2,94	128,70	99	68
	10–40	4,72	2,81	120,40	92	50
На відстані 3Н	10–40	5,80	3,13	122,60	92	96
На відстані 10Н	10–40	6,18	3,29	140,50	92	102

відмерлої рослинності анаеробним шляхом, тобто без доступу кисню. Безперечно провідну роль у формуванні гумусу відіграють дощові черв'яки, які не тільки переробляють перегній, а й ефективно розпушують ґрунт. Вони, як правило, концентруються у верхньому шарі ґрунту, особливо під підстилкою лісових насаджень. Окрім того, органічні рештки також перетворюються на гумус за участю мікроорганізмів, бактерій, грибків, які також містяться у живому надґрунтовому покриві, лісовій підстилці і ґрунті.

Саме тому дані *табл. 2* свідчать, що у верхньому шарі лісових смуг кількість гумусу перевищує аналогічний показник відкритих територій. Так, у КЛС на ПП 1 уміст гумусу становив 3,38%, а на відстанях 3Н і 10Н від смуги відповідно 3,02 і 3,26%. Переважання вмісту гумусу в лісовій смузі над ріллею сягає 10,7 і 3,6% відповідно. Підтвердженням такого явища є дослід-

ження С.О. Панкової (2024), проведені в лісосмугах Вінниччини, де середньозважений вміст гумусу в лісових смугах був 5,6% за діапазону значень 3,7–7,8%. Високі показники вмісту гумусу в ґрунтах лісових смуг сприяють успішному росту і розвитку деревної рослинності.

Значно нижчі показники вмісту гумусу зафіксовано у ТЛС, що пояснюється видуванням підстилки і зменшення її товщини. Також частково спостерігається і винесення верхнього не вкритого рослинністю шару ґрунту за межі насадження. У ТЛС смузі на ПП 4 уміст гумусу у верхньому шарі ґрунту становив 3,15%, що менше ніж у КЛС на 6,8%. Водночас на глибині 10–40 см показники гумусу у КЛС і ТЛС збігаються і сягають 3,20%. Особливо наочно зменшення вмісту гумусу простежується у ґрунті дворядної ТЛС, де його вміст на глибинах 0–10 і 10–40 був 2,94 і 2,81% відповідно. Дослідження, здійснені

В.П. Шлапаком і Н.В. Зворською [14] в окремих колективних господарствах на території Уманського р-ну Черкаської обл., показали, що вміст гумусу в лісових смугах різних конструкцій коливається від 2,5 до 3,6% з найбільшим показником у лісовій смузі ажурної конструкції. Одержані дані вказують на зменшення органічної маси в ґрунті у ТЛС, які зазнають сильного освітлення.

Вміст гумусу в ріллі на відстанях 3Н і 10Н загалом відповідає значенням цього показника, виявленого на такій самій глибині у лісових смугах, але у деяких випадках перевищує істотно на ПП 2, 4, 6, що є наслідком внесення органічних добрив у передпосівний період.

У системі живлення рослин провідна роль належить трьом титанам — азоту, фосфору і калію. Вони складають групу макроелементів, які вкрай необхідні для нормального розвитку рослин. Від нестачі в ґрунті одного із цих елементів притупляється ріст і розвиток рослин.

Головним або будівельним елементом, який відповідає за ріст фітомаси рослини, формування коренів, листків, регенеративних органів є азот. Його дефіцит різко змінює колір листків та поступове їх відми-

рання, пружність стебел і гілок, призводить до сповільнення росту цих органів. Уміст азоту в ґрунті у достатній кількості зумовлює продуктивний ріст і розвиток рослин, слугує важливим показником родючості ґрунтів.

Забезпеченість азотом рослин упродовж вегетаційного періоду характеризує показник гідролізованого азоту. Він визначає запас азоту, доступного для рослин на перспективу. Дані досліджень (див. *табл. 2, рис. 3*) засвідчили істотне переважання легкогідролізованого азоту у верхньому 0–10 см горизонті ґрунту у всіх лісових смугах порівняно з його вмістом у нижче лежачих горизонтах ґрунту. Так, у КЛС на ПП 1 уміст азоту в горизонті 0–10 см становив 156,80 мг/кг ґрунту, тоді як на глибині 10–40 см його вміст у ґрунті був на 23,3% меншим і сягав 120,40 мг/кг. Аналогічна тенденція виявлена і в ТЛС, проте вміст азоту у верхньому шарі ґрунту значно нижчий цього показника в КЛС. Це пояснюється більшою наявністю і активністю ґрунтових мікроорганізмів у КЛС, які відіграють вирішальну роль у динаміці азоту в лісових екосистемах [22; 23]. Також така тенденція зумовлена більшою потужністю лісової підстилки і опадів у КЛС порівня-

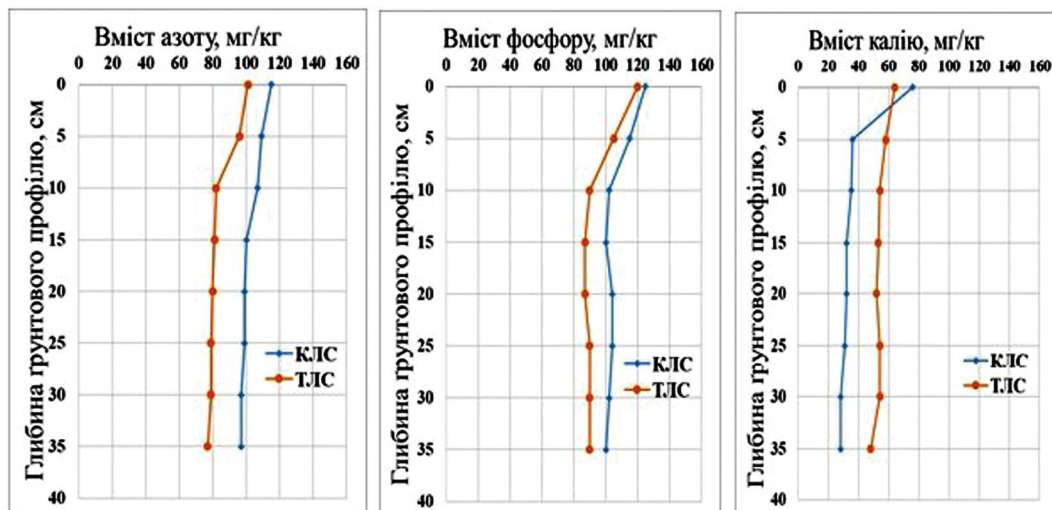


Рис. 3. Розподіл азоту, фосфору й калію в сірих лісових ґрунтах класичних і трансформованих лісових смугах

Примітка: розроблено авторами.

но з ТЛС, у яких відбуваються процеси її видування. У лісових екосистемах ґрунт постійно збагачується деревним опадом, тілами мертвих тварин, відпадом деревини. Деревні породи визначають характер кругообігу та динаміку азоту [24]. Тому, цикл азоту відрізняється від сільськогосподарських ґрунтів разом із чинниками, що впливають на нього [25]. Забезпечення рослин азотом тісно пов'язано із швидкістю мінералізації органічних речовин, про що відмічають дослідники Я.І. Крилов [26], Qin et al. [27].

Аргументацію цієї залежності підтверджують дослідження агрохімічних показників рекультивованих ґрунтів Юрківського буровугільного басейну І.А. Проценко [28]. Ним встановлено найбільший вміст азоту 232 мг/кг у верхньому прошарку ґрунту під наметом сосново-березового насадження. Водночас найменшим вмістом легкогідролізованого азоту характеризуються ґрунти, на яких створено чисті соснові лісові культури.

Високий вміст азоту також зафіксовано на прилеглих агрофонах у зоні впливу 3 і 10Н. Тут кореляції вмісту азоту в ґрунті із конструктивними особливостями КЛС і ТЛС не відзначено. Очевидно це є наслідком внесення мінеральних добрив, а також постійним обробітком ґрунту на глибину зяблевої оранки.

Фосфор є складовою багатьох органічних сполук, які визначають життєдіяльність організмів. Рослини засвоюють фосфор із ґрунту, де він існує у формі іонів. Фосфор, який у найбільшій кількості споживається рослинами, акумулюється у верхніх шарах ґрунту — місцях поширення фізіологічно активного коріння. У ґрунтах вміст фосфору знаходиться в незначних межах — від 0,1 до 0,25%. Слабокисла реакція ґрунтового розчину ($\text{pH} = 6\text{--}6,5$) є найсприятливішим середовищем для засвоєння фосфат-іонів рослинами [29].

Результати досліджень вмісту та запасів рухомого фосфору у КЛС і ТЛС зображено на *рис. 3*. Найбільше накопичення фосфору виявлено у КЛС у верхньому 0–10 см шарі ґрунту, де його запас становив

156,80 мг/кг. Такий запас фосфору зумовлений слабокислою реакцією ґрунту ($\text{pH} = 6,47$) і наявністю високої концентрації органічної речовини і мікоризних грибів, які створюють середовище для поглинання фосфорних іонів коренями рослин. У ТЛС вміст фосфору у верхньому шарі ґрунту у всіх випадках на 11,4–14,5% менше порівняно з аналогічним показником КЛС. Концентрація фосфору зменшується з глибиною як у КЛС, так і в ТЛС. До того ж у ТЛС запаси фосфору в 10–40 см шарі ґрунту коливаються в межах 80,70–120,40 мг/кг, що фактично не відрізняється від вмісту фосфору в ґрунті на такій самій глибині у КЛС — 98,00–132,30 мг/кг. У дослідженнях В.П. Шлапака (2023) спостерігалася ширша амплітуда коливання вмісту P_2O_5 у нижньому шарі ґрунту від 62,1 мг/кг до 142,0 мг/кг.

Значне накопичення фосфору зафіксовано в орному шарі ґрунту на відстанях 3 і 10 висот від лісових смуг, де його вміст варіював від 117,60 до 170,40 мг/кг. Такі запаси пояснюються нейтральною кислотністю ґрунту та його обробітком. Зазначимо, що на агрофоні бобової, соєвої культури і ріпаку запаси фосфору були меншими, ніж під посівами кукурудзи.

Калій є не тільки елементом живлення, потрібним для росту і розвитку рослин, а й також підвищує стійкість до посухи, що робить його особливо цінним елементом в умовах кліматичних змін. Він також регулює водний режим ґрунту, поліпшує розвиток кореневої системи рослин. Основна частка калію міститься у ґрунті в малодоступній для рослин формі. Для рослин важливим джерелом є обмінний калій. На відміну від азоту і фосфору наявність калію в ґрунті лісових смуг набуває менших значень. Це чітко простежується закономірність зменшення запасів калію з глибиною ґрунту. До того ж вміст калію у верхньому шарі ґрунту КЛС переважає аналогічний показник ТЛС на 18,4–29,8%, що відповідно перебуває в межах від 64 мг/кг (ТЛС, ПП 6) до 90 мг/кг (КЛС, ПП 1). З глибиною ґрунту запаси калію набувають меншого коливання і знаходяться

в межах 36–65 мг/кг на ПП 2 і ПП 3 відповідно.

Запаси калію в орному шарі ґрунту різняться на відстанях 3 і 10 висот від лісової смуги. Якщо біля лісової смуги у зоні 3 висот запаси калію майже збігаються із його вмістом у верхньому горизонті ґрунту лісових смуг, то на віддалених локаціях (10Н) запаси калію у 2,2–5,4 раза перевищували аналогічний показник лісових смуг. Це особливо помітно на агрофонах сої і кукурудзи як наслідок внесення мінеральних добрив.

Основною властивістю ґрунтів, від якої повною мірою залежить активність елементів живлення та їхнє засвоєння рослинами, є кислотність ґрунтів. Знання останнього дають змогу для проведення оптимального вибору асортименту деревної рослинності, а застосування заходів з оптимізації показників кислотності до вирощування рослин, підвищує їхню продуктивність. Загалом кислотність ґрунту зумовлена наявністю в ґрунтового розчину катіонів водню (H^+) і залежно від концентрації водневих іонів ґрунти розподіляються на кислі ($pH < 7$), нейтральні pH — близько 7 і лужні ($pH > 7$).

З отриманих даних (див. *табл. 2*) видно, що кислотність досліджуваних ґрунтів коливається в межах 4,67–7,12. Це свідчить про переважання кислої реакції ґрунтового розчину. Загалом ґрунти під лісовими смугами характеризуються кислою реакцією ґрунтового розчину, де pH набуває значень від 4,64 до 5,50, що властиво деревним видам рослин. Виняток становить кислотність верхнього шару ґрунту на ПП 1, насадження якої представлено деревостаном з участю дуба червоного. Цей феномен знаходить пояснення в тому, що тривалий період розкладення підстилки дуба червоного через відсутність мікоризоутворювальних грибів уповільнює підкислювання ґрунту. Реакція ґрунтового розчину в цьому горизонті близька до нейтральної ($pH = 6,47$). Ґрунт нижніх горизонтів лісових смуг визначається меншою кислотністю ніж верхніх шарів ґрунту. Це пояснюється прискореною мінералізацією органічної речовини. Дані

свідчать, що у всіх випадках кислотність ґрунту ТЛС істотно відрізняється від такої КЛС із трендом пониження.

Аналогічні показники кислотності ґрунту виявлені у лісових смугах Правобережного Лісостепу [14], де рівень кислотності pH в 0–20 см шарі ґрунту коливався від 5,87 в ажурно-продувній лісовій смузі до 7,3 одиниць у непродувній, що є певною особливістю для ТЛС і КЛС досліджуваних полезахисних насаджень.

Ґрунти орного шару на різних відстанях від лісових смуг характеризуються кислотністю близької до нейтральної, яка коливається в межах 6,18–7,12. Виняток також становлять ґрунти із соєвим агрофоном, які примикають до КЛС зі складом 4Дч6Клг.

Неабияке значення у ґрунтоутворювальному процесі належить формуванню агрохімічних властивостей ґрунту, які визначають оптимальне живлення агрокультур. У цьому сенсі оптимальною вважається $pH = 6,5$ (6,6–6,9), за якої основні поживні речовини доступні рослинам і знаходяться у ґрунтового розчині. Тому дані досліджень стверджують позитивний вплив як класичних, так і трансформованих лісових смуг на прилеглі орні території.

ВИСНОВКИ

Агрохімічний аналіз ґрунтів полезахисних лісових смуг показав, що запаси гумусу у лісових смугах перевищують аналогічних показник орних земель на 10,7 і 3,4% на віддальх 3Н і 10Н відповідно. Високі показники вмісту гумусу в ґрунтах лісових смуг сприяють успішному росту і розвитку деревної рослинності. Нижчі показники вмісту гумусу зафіксовано у трансформованих лісових смугах, що пояснюється зменшенням товщини підстилки, а деінде її повною втраатою.

Вміст гумусу в ріллі на відстанях 3Н і 10Н загалом відповідає значенням цього показника, визначеного на такій самій глибині у лісових смугах, але у деяких випадках перевищує істотно на ПП 2, 4, 6, що є наслідком внесення органічних добрив у

передпосівний період на конкретних агрофонах.

Виявлено істотне переважання легко-гідролізованого азоту у верхньому 0–10 см горизонті ґрунту у всіх лісових смугах порівняно з його вмістом у глибших горизонтах. Відмічено значно нижчий вміст азоту у верхньому шарі ґрунту трансформованих лісових смуг порівняно із класичними смугами. Цей феномен пояснюється більшою наявністю і активністю ґрунтових мікроорганізмів у класичних лісових смугах, пов'язаної з більшою потужністю лісової підстилки і опадів у класичних лісових смугах.

Найбільше накопичення фосфору помічено у класичних лісових смугах у верхньому 0–10 см шарі ґрунту, де його запас становив 156,80 мг/кг. Такий запас фосфору зумовлений слабокислою реакцією ґрунту ($\text{pH} = 6,47$) і наявністю високої концентрації органічної речовини і мікоризних грибів, які створюють середовище для поглинання фосфорних іонів коренями рослин. У трансформованих лісових смугах вміст фосфору у верхньому шарі ґрунту у всіх випадках на 11,4–14,5% менше порівняно з аналогічним показником класичних лісових смуг. Значне накопичення фосфору зафіксовано в орному шарі ґрунту на відстанях 3 і 10 висот від лісових смуг, де його вміст коливався від 117,60 до 170,40 мг/кг. Такі запаси пояснюються

нейтральною кислотністю ґрунту та його інтенсивним обробітком.

Встановлено закономірність зменшення запасів калію з глибиною ґрунту. До того ж вміст калію у верхньому шарі ґрунту класичних лісових смуг переважає аналогічний показник трансформованих смуг 18,4–29,8%, що відповідно коливається у межах 6490 мг/кг. З глибиною ґрунту запаси калію набувають меншого коливання і знаходяться в межах 36–65 мг/кг. Запаси калію в орному шарі ґрунту перевищували аналогічний показник лісових смуг у 2,2–5,4 раза. Це особливо помітно на агрофонах сої і кукурудзи, як наслідок внесення мінеральних добрив.

Ґрунти під лісовими смугами характеризуються кислою реакцією ґрунтового розчину, де pH набуває значень від 4,64 до 5,50. Ґрунт нижніх горизонтів лісових смуг визначається меншою кислотністю, ніж верхніх шарів ґрунту. Це пояснюється прискореною мінералізацією органічної речовини. Кислотність ґрунту трансформованих лісових смуг істотно відрізняється від кислотності ґрунтів класичних лісових смуг із трендом її пониження. Загалом дані досліджень підтверджують позитивний вплив як класичних, так і трансформованих лісових смуг на прилегли орні території, оскільки їхні агрохімічні показники забезпечують оптимальне живлення агрокультур.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фурдичко, О. І., & Стадник, А. П. (2012). *Основи управління агроландшафтами України*. Київ: Аграрна наука.
2. Докучаєв, В. В. (1979). *Наші степи колись і тепер*. Харків: Держ. вид-во с.-г. літ.
3. Mosquera-Losada, M. R., Moreno, G., Pardini, A., McAdam, J. H., Papanastiris, V., & Burgess, P. J. (2012). *Agroforestry — the future of land use*. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-4676-3_16.
4. Nair, P. R., & Garrity, D. (2012). *Agroforestry — The Future of Global Land Use*. Springer Dordrecht Publisher.
5. Shibu, J. (2012). *Agroforestry for Ecosystem Services and Environmental Benefits*. Springer Dordrecht. URL: <https://link.springer.com/book/9789048133222>.
6. Гладун, Н. В., & Гладун, Ю. Г. (2013). Перспективи розвитку агролісівництва в Україні. *Вісник Харківського НАУ*, 2, 165–170.
7. Юхновський, В. Ю., Малюга, В. М., Дударець, С. М., Йосипенко, В. В., Войчик, М. І., & Хрик, В. М. (2012). *Настанови з лісомеліоративного впорядкування захисних лісових насаджень лінійного типу*. Київ: Компрінт.
8. Земельний кодекс України. Законодавство України: станом на 01 жовтня 2024 р. Вид-во Паливода А. В., 2024.123 с.
9. Лохматов, Н. А., & Гладун, Г. Б. (2004). *Лесные мелиорации в Украине: история, состояние, перспективы*. Харків.
10. Фурдичко, О. І., Гладун, Г. Б., & Лавров, В. В. (2006). *Ліс у Степу: основи сталого розвитку*. Київ: Основа.
11. Пилипенко, О. І., Юхновський, В. Ю., Дударець, С. М., Малюга, В. М., & Соваков, О. В. (2022). *Лісові меліорації: підруч.* Київ: РВВ НУБіП України.

12. Панкова, С. О. (2024). *Біоіндикаційна оцінка стійкості полезахисних лісосмуг в умовах інтенсивного землеробства Лісостепу правобережного*. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Вінницький національний аграрний університет, 174. URL: <https://vsau.org/assets/images/general/pauka/razovi-radu/Dysertatsiia-Pankovoi%CC%88-S.O.pdf>.
13. Сидоренко, С. В., Старченко, О. І., Гладун, Г. Б., & Сидоренко, С. Г. (2019). Вплив лінійних дубових полезахисних насаджень на біогенність чорнозему типового агрогенного використання. *Науковий вісник НЛТУ України*, 29(8), 60–65. DOI: <https://doi.org/10.36930/40290809>.
14. Шлапак, В. П., & Зворська, Н. В. (2023). Вплив полезахисних лісових смуг різних конструкцій на родючість та вологозабезпеченість ґрунту в умовах Правобережного Лісостепу. *Наук. доповіді НУБіП України*, 1/107, 1–16. DOI: [https://doi.org/10.31548/dopovid1.1\(107\).2024.024](https://doi.org/10.31548/dopovid1.1(107).2024.024).
15. Ткачук, О. П., & Панкова, С. О. (2023). Сільськогосподарські чинники впливу на екологічний стан полезахисних лісосмуг Лісостепу Правобережного. *Сільське господарство та лісівництво*, 1(28), 183–194. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-1-13>.
16. СОУ 02.02-37-476: 2006. Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання. [Чинний від. 2007]. Київ: Мінагрополітики України. 2006. 32 с.
17. Патент 88990 Україна, МПК G01N/04; A01 B1/04. Пристрій для відбору проб ґрунту / Малюга В. М., Юхновський В. Ю., Дудареш С. М., Міндер В. В., Проценко І. А., Крилов Я. І.; заявник патентовласник НУБіП України № 11083; заявка 10.10.2013; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7.
18. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини (2005). [Чинний від 2004-05-30]. Київ: Держспоживстандарт України.
19. Національний стандарт ДСТУ 4115–2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова. (2001). [Чинний від 2003–01–01]. Київ: Держспоживстандарт України.
20. ДСТУ 7863:2015. Визначення легкогідролізованого азоту методом Корнфілда. Якість ґрунту. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/7863/5-1-0-1777>.
21. ДСТУ ISO 10390:2007. Якість ґрунту. Визначення рН (62879). (2012). [Чинний від 2016–07–01]. Київ: Держспоживстандарт України.
22. Yokobe, T., Hyodo, F., & Tokuchi, N. (2018). Seasonal effects on microbial community structure and nitrogen dynamics in temperate forest soil. *Forests*, 9, 153. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9030153>.
23. Tahmasbian, I., Xu, Z., Nguyen, T.T.N., Che, R., Omidvar, N., & Lambert, G. (2019). Short-term carbon and nitrogen dynamics in soil, litterfall and canopy of a suburban native forest subjected to prescribed burning in subtropical Australia. *J. Soils Sediments*, 19, 3969–3981. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02430-3>.
24. Mushinski, R. M., Payne, Z. C., Raff, J. D., Craig, M. E., Pusede, S. E., & Rusch, D. B. (2021). Nitrogen cycling microbiomes are structured by plant mycorrhizal associations with consequences for nitrogen oxide fluxes in forests. *Glob. Change Biol.*, 27, 1068–1082. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.15439>.
25. Tang, Y., Yu, G., Zhang, X., Wang, Q., Ge, J., & Liu, S. (2018). Changes in nitrogen-cycling microbial communities with depth in temperate and subtropical forest soils. *Appl. Soil. Ecol.*, 124, 218–228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.029>.
26. Крилов, Я.І. (2014). Агрохімічні властивості ґрунтів протиерозійних насаджень дуба звичайного. *Науковий вісник НУБіП України*, 198(2), 173–182.
27. Qin, H., Xing, X., Tang, Y., Hou, H., Yang, J., & Shen, R. (2019). Linking soil N₂O emissions with soil microbial community abundance and structure related to nitrogen cycle in two acid forest soils. *Plant Soil.*, 435, 95–109. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3863-7>.
28. Проценко, І. А. (2018). Вміст поживних речовин у ґрунтах рекультивованих ландшафтів Юрківського буровугільного басейну. *Науковий вісник НУБіП України*, 288, 107–116.
29. Позняк, С. П. (2010). *Ґрунтознавство і географія ґрунтів: підруч.* (Ч. 1. с. 270).

Стаття надійшла до редакції журналу 22.12.2024

ЗАПАСИ ВУГЛЕЦЮ У ВІДМЕРЛІЙ ДЕРЕВИНІ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ СЕРЕДНЬОГО ПРИДНІПРОВ'Я (ЛІСОСТЕП УКРАЇНИ)

О.Ю. Чорнобров

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

Відмерла деревина є важливим структурним компонентом лісових екосистем і виконує низку вагомих екологічних функцій, зокрема участь у біологічному кругообігу речовин і енергії та депонуванню вуглецю. Метою статті є оцінити запаси депонованого вуглецю у відмерлій деревині лісових насаджень Середнього Правобережного Придніпров'я (Лісостеп України). Дослідження проведено на прикладі територій лісового фонду північної частини Черкаської обл. за даними матеріалів лісовпорядкування щодо запасів сухостою та захаращеності. З'ясовано, що у структурі загального запасу вуглецю у відмерлій деревині більшу частку (58,0%) депоновано у сухостій порівняно з захаращеністю (42,0%). У лісових насадженнях, у яких під час лісовпорядкування виявлено відмерлу деревину, середній запас вуглецю у сухостій на одиниці площі насаджень становив $0,9\text{--}5,2\text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$, середнє значення $2,2\text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$, у поваленій відмерлій деревині — $0,9\text{--}3,7\text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$, і $2,1\text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$, відповідно. Для лісових насаджень більшості деревних видів характерним є переважання середнього запасу вуглецю, депонованого у сухостій, порівняно з аналогічним показником для поваленої відмерлої деревини. У насадженнях із домінуванням деревних видів — сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) та акації білої (*Robinia pseudoacacia* L.) середній запас вуглецю у сухостійній та поваленій відмерлій деревині був $2,1$ і $1,8\text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$, $2,8$ і $2,6\text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$, відповідно. У насадженнях двох зазначених деревних видів зосереджено 82,7% всього запасу вуглецю, депонованого у сухостійній деревині. Відповідна частка вуглецю у поваленій відмерлій деревині сягає 76,2%. Отримані нами дані є важливими у дослідженнях потенційних запасів вуглецю, акумульованого у деревному детриті лісових екосистем Середнього Придніпров'я у контексті вивчення біопродуктивності лісів та обґрунтуванні заходів щодо запобігання змінам клімату. Подальші дослідження у цьому напрямі є необхідними для формування стратегії збалансованого лісокористування у регіоні з урахуванням важливих природоохоронних, екологічних, захисних та ресурсних функцій відмерлої деревини.

Ключові слова: сухостій, захаращеність, лісова екосистема, екологічні функції, природокористування, зміни клімату.

ВСТУП

Лісові екосистеми відіграють значну роль у кругообігу речовин та енергії, виконуючи важливу функцію у депонуванні вуглецю шляхом поглинання його з атмосфери у процесі фотосинтезу, зберігання в біомасі та ґрунті. Вуглець у лісових екосистемах міститься у чотирьох накопичувачах — живій біомасі, відмерлій деревині, підстилці та органічних речовинах ґрунту [1]. Виділення вуглецю у лісах відбувається під час природних процесів (дихання, розкладання відмерлої деревини) та внаслідок впливу діяльності людини (рубка лісів, спалювання деревини). Паризькою

угодою (2015 р.) підтверджено важливу роль лісів планети у запобіганні змінам клімату [2].

Запаси вуглецю в лісах та їх динаміка є вагомими показниками у дослідженнях глобального кругообігу вуглецю, а також для лісового менеджменту. Визначення запасів вуглецю у лісових екосистемах, зокрема в основних його накопичувачах, заохочується Рекомендаціями з обліку парникових газів Міжурядової групи експертів зі зміни клімату [3], розробленими відповідно до Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату (UNFCCC) та Кіотського протоколу. Загальний запас вуглецю в лісах земної кулі станом на 2020 р. оцінено у 662 Гт,

в середньому 163 т-га^{-1} , та становить понад 50% усього світового запасу вуглецю, який депоновано у ґрунті та рослинності [1]. Близько 45% запасів вуглецю в лісах зосереджено у живій біомасі, 45% — в органічних речовинах ґрунту і 10% у відмерлій деревині та підстилці. У лісових насадженнях країн Європи у біомасі депоновано 35,9% запасів вуглецю, 53,9 — у ґрунті та 10,2% — у лісовій підстилці та відмерлій деревині [4].

Мертва деревина, тобто відмерлі стоячі (сухостій) та повалені дерева, стовбури, гілки та пні, як важливий структурний компонент лісових екосистем, утворюється внаслідок відмирання живих дерев за впливу абіотичних та (або) біотичних чинників [5; 6]. Окрім депонування вуглецю вона виконує низку екологічних функцій, що пов'язані з кругообігом речовин та енергії, функціонуванням та регулюванням основних екосистемних процесів [5–7]. Компоненти відмерлої деревини є важливими для збереження біорізноманіття лісових екосистем [5; 8]. Сухостій та повалені дерева, фрагменти стовбурів формують унікальні середовища існування для грибів, лишайників, мохоподібних, безхребетних, дрібних хребетних, птахів, ссавців та інших організмів.

Враховуючи основні природоохоронні та екологічні функції мертвої деревини, вона постає вагомим об'єктом наукових досліджень на території Середнього Правобережного Придніпров'я (Лісостеп України), зокрема і у лісових екосистемах Канівського Придніпров'я. Особливістю зазначеної території є наявність добре збережених природних лісових екосистем із багатим біорізноманіттям та штучно створених, переважно захисних лісових насаджень, які в межах ландшафту розташовані посеред сільськогосподарських угідь. Територія Канівського Придніпров'я входить до складу Дніпровського екологічного коридору, в межах якого розташовані території природно-заповідного фонду та об'єкти Смарагдової мережі. Ми вже вивчали лісівничо-типологічні особливості розподілу відмерлої деревини у насаджен-

нях зазначеної території у природоохоронних аспектах [9; 10]. Нині ж є важливим оцінити функції відмерлої деревини у депонуванні вуглецю.

Мета роботи — оцінити запаси вуглецю, депонованого у компонентах відмерлої деревини лісових насаджень Середнього Правобережного Придніпров'я (Лісостеп України).

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Вивченням запасів депонованого вуглецю у мортмасі лісових насаджень займалася низка вчених. В.П. Пастернак та ін. у роботі [11] досліджували запаси і динаміку вуглецю в компонентах лісових насаджень Лівобережного Лісостепу України на ділянках інтенсивного моніторингу лісів і виявили, що на баланс вуглецю впливають два процеси: біотичні пошкодження, що призводять до всихання дерев, і часткове видалення мертвої деревини з деревостанів. Авторами також було встановлено, що запас вуглецю у мортмасі у дубових лісах вищий, ніж у соснових — 9,3% і 5,7%, відповідно, від загального запасу фітомаси [11]. Вчені В.Ю. Яроцький та ін. аналізували запаси відмерлої деревини у дубових лісостанах [12], запаси фітомаси та мортмаси, а також депонований вуглець у соснових лісових насадженнях Лівобережного Лісостепу України [13]. У.М. Котляревська та ін. у науковій праці [14] досліджували, що у межах Українського Полісся у ґрубому деревному детриті насаджень вільхи чорної накопичено 39,9 Гг вуглецю. Депонований вуглець у мортмасі сухоостою вільхових насаджень у межах адміністративних областей у середньому становив від $2,2 \text{ Мг С-га}^{-1}$ (Волинська обл.) до $3,0 \text{ Мг С-га}^{-1}$ (Київська і Чернігівська обл.) [14]. Р.М. Василишин та ін. у роботі [15] вивчали запаси органічного вуглецю у лісах Київської обл. за даними матеріалів лісовпорядкування. Вони виявили, що загальний запас органічного вуглецю лісів області становить 61,8 млн т, а у мортмасі депоновано 10,5% всього його запасу. Автори у науковій праці [16] досліджували

структуру депонованого вуглецю в біомасі дубових насаджень парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення «Феофанія» (м. Київ) за даними пробних площ. Вони встановили, що у структурі мортмаси 75-річного дубового насадження основну частку становить підстилка (73%), значно менше сухостій — 17%, а деревна ламаць і опад грубих гілок — по 5% загального обсягу мортмаси. Загальний запас депонованого вуглецю в біомасі насаджень парку «Феофанія» — близько 11,0 ГтС.

Особливості розподілу депонованого вуглецю компонентів відмерлої деревини у лісових насадженнях Середнього Придніпров'я в межах Лісостепу України вивчено недостатньо. У попередніх роботах нами вже було досліджено запаси поваленої [9] та сухостійної [10] відмерлої деревини у лісових екосистемах Середнього Придніпров'я. Тому наразі є необхідність оцінити запаси депонованого вуглецю у компонентах відмерлої деревини лісів зазначеної території.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Оцінювання запасів вуглецю, депонованого у відмерлій деревині, проводили на прикладі лісових насаджень філії «Корсунь-Шевченківське ЛГ» ДП «Ліси України» (до 2021 р. — ДП «Канівський лісгосп»). Досліджувана територія розташована на півночі правобережної частини Черкаської обл. За фізико-географічним районуванням вона належить до Букринсько-Канівського р-ну Київської височинної обл. Подільсько-Придніпровського лісостепового краю Лісостепової недостатньо зволоженої зони Східноєвропейської рівнинної ландшафтної країни [17]. За геоботанічним районуванням вона розташована в межах Північного Правобережно-Придніпровського округу грабово-дубових, дубових лісів, остепнених лук та лучних степів Української лісостепової підпровінції Східноєвропейської лісостепової провінції дубових лісів, остепнених лук та лучних степів Лісостепової підобласті

(зони) Євразійської степової області [18]. За лісотипологічним районуванням вона належить до Правобережного сектору Дніпровського району свіжих грабових дібров області свіжого помірно теплого клімату [19]. У геоморфологічному відношенні територія є полого-гористою рівниною з чітко вираженими долинно-балковими зниженнями, характеризується типовими для цієї частини вказаного фізико-географічного району елементами розлогого балкового рельєфу, вкритими з поверхні вилугуваними чорноземами та сірими лісовими ґрунтами. Абсолютні висоти поверхні перебувають у межах 124–195 м н.р.м. [18].

Для визначення запасів вуглецю було використано вже попередньо опрацьовані нами дані матеріалів лісовпорядкування щодо запасів сухою і захаращеною у лісових насадженнях загальною площею 24558,6 га на територіях п'яти лісництв: Бучацьке, Канівське, Михайлівське, Софіївське, Степанецьке [9; 10].

Обчислення запасів вуглецю проводили окремо для сухою та поваленої відмерлої деревини, у межах деревних порід, у насадженнях яких виявлено зазначені компоненти відмерлої деревини. Запаси сухою (захаращеною) у межах кожної деревної породи було розподілено за класами розкладу. Середні частки кожного класу розкладу у загальному запасі відмерлої деревини було визначено у відсотках для кожної деревної породи за даними обстежень лісових насаджень. Було використано класифікацію компонентів відмерлої деревини за класами розкладу згідно з роботою [20].

Згідно з методиками для розрахунку запасів вуглецю необхідні дані щодо об'єму (запасу) деревини, базисної щільності та вмісту вуглецю у деревині [3; 20; 21].

Обчислення запасів вуглецю у компонентах відмерлої деревини здійснювали для кожної деревної породи за формулою:

$$M_C = \sum (V_i \cdot D_i \cdot F_c),$$

де M_C — запас вуглецю у сухостійній (поваленій) відмерлій деревині, т; V_i — об'єм (запас) сухостійної (поваленої) деревини

i -го класу розкладу, m^3 ; D_i — базисна щільність сухостійної (поваленої) деревини в абсолютно сухому стані i -го класу розкладу, т сухої маси m^{-3} ; F_c — частка вуглецю у деревині в абсолютно сухому стані, %.

Дані про базисну щільність деревини за класами деструкції взято з довідників [3; 22] та роботи [21]. Дані про вмісту вуглецю у деревині отримано з довідників [3; 23]. Середні запаси вуглецю у сухостої (поваленій відмерлій деревині) на одиниці площі насадження було розраховано для кожної деревної породи діленням загаль-

ного запасу на площу насаджень, в яких наявний відповідний компонент відмерлої деревини.

**РЕЗУЛЬТАТИ
ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ**

У відмерлій деревині лісових насаджень досліджуваної території загалом депоновано 13013,1 т вуглецю (*табл. 1*).

Дані щодо площ насаджень і запасів вуглецю, депонованого у сухостійній відмерлій деревині об'єкта дослідження, подано у *табл. 2*.

Таблиця 1. Загальні показники депонованого вуглецю у відмерлій деревині лісових насаджень

№ п/п	Компонент відмерлої деревини	Площа насаджень, в яких виявлено відмерлу деревину, га	Загальний запас вуглецю у відмерлій деревині, т	Середній запас вуглецю, т·га ⁻¹
1	Сухостій	3439,4	7553,8	2,2
2	Повалена відмерла деревина	2550,3	5459,3	2,1
Разом		—	13013,1	—

Таблиця 2. Запаси вуглецю у сухостійній деревині лісових насаджень переважających деревних видів

№ п/п	Переважajúчий деревний вид насаджень	Площа насаджень, в яких виявлено сухостій, га	Загальний запас вуглецю у сухостої, т	Середній запас вуглецю, т·га ⁻¹
1	Акація біла (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	301,7	841,9	2,8
2	Береза повисла (<i>Betula pendula</i> Roth.)	57,2	139,9	2,4
3	Верба біла (<i>Salix alba</i> L.)	2,3	6,7	2,9
4	Вільха чорна (<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaerth)	35,0	67,7	1,9
5	Граб звичайний (<i>Carpinus betulus</i> L.)	134,3	460,0	3,4
6	Дуб звичайний (<i>Quercus robur</i> L.)	280,3	557,7	2,0
7	Дуб червоний (<i>Quercus rubra</i> L.)	0,5	2,6	5,2
8	Липа дрібнолиста (<i>Tilia cordata</i> Mill.)	0,9	2,1	2,3
9	Осика (<i>Populus tremula</i> L.)	11,1	25,9	2,3
10	Сосна звичайна (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	2592,9	5406,7	2,1
11	Сосна кримська (<i>Pinus pallasiana</i> (Lamb.) Holmboe)	8,9	8,0	0,9
12	Тополя канадська (<i>Populus canadensis</i> Moench)	5,8	17,3	3,0
13	Тополя пірамідальна (<i>Populus pyramidalis</i> Rozier)	5,3	10,7	2,0
14	Ялина європейська (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.)	1,7	3,9	2,3
15	Ясен зелений (<i>Fraxinus lanceolata</i> Borkh.)	1,5	2,7	1,8
Разом		3439,4	7553,8	2,2

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

Як видно з *табл. 2*, у сухостійній відмерлій деревині об'єкта дослідження загалом депоновано 7553,8 т вуглецю у лісових насадженнях площею 3439,4 га. У лісостанах середній запас вуглецю сухою за деревними видами становить від 0,9 т·га⁻¹ (сосна кримська) до 5,2 т·га⁻¹ (дуб червоний), загалом для всіх деревних видів — 2,2 т·га⁻¹. Основна частина запасу вуглецю (82,7%) зосереджена в насадженнях двох деревних видів — сосни звичайної і акації білої, які є переважними у лісовому фонді досліджуваного об'єкта. У лісових насадженнях з домінуванням сосни звичайної запаси вуглецю, депонованого у сухості, становлять 5406,7 т, або 71,6% від загального запасу вуглецю сухостійної деревини в насадженнях, де проводився облік

мертвої деревини. У насадженнях зазначеного деревного виду середній запас вуглецю був 2,1 т·га⁻¹. У лісових насадженнях із переважанням акації білої запаси вуглецю, депонованого у сухості, становлять 841,9 т, або 11,1% від його загального запасу у зазначеному компоненті відмерлої деревини. У насадженнях акації білої середній запас вуглецю був 2,8 т·га⁻¹.

Дані щодо площ насаджень і запасів вуглецю, депонованого у поваленій відмерлій деревині об'єкта дослідження, представлено у *табл. 3*.

Як бачимо з *табл. 3*, у поваленій відмерлій деревині об'єкта дослідження загалом депоновано 5459,3 т вуглецю. У лісових насадженнях середній запас вуглецю поваленої відмерлої деревини за

Таблиця 3. Запаси вуглецю у поваленій відмерлій деревині лісових насаджень переважаних деревних видів

№ п/п	Переважаний деревний вид насаджень	Площа насаджень, в яких виявлено захищеність, га	Загальний запас вуглецю у захищеності, т	Середній запас вуглецю, т·га ⁻¹
1	Акація біла (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	1077,3	2819,7	2,6
2	Берест (<i>Ulmus minor</i> Mill.)	5,2	6,3	1,2
3	Береза повисла (<i>Betula pendula</i> Roth.)	51,2	114,8	2,2
4	Верба біла (<i>Salix alba</i> L.)	10,7	39,8	3,7
5	Вільха чорна (<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaerth)	53,4	79,2	1,5
6	Граб звичайний (<i>Carpinus betulus</i> L.)	217,7	397,8	1,8
7	Дуб звичайний (<i>Quercus robur</i> L.)	270,4	472,5	1,7
8	Клен гостролистий (<i>Acer platanoides</i> L.)	15,7	26,9	1,7
9	Клен ясенелистий (<i>Acer negundo</i> L.)	4,7	11,6	2,5
10	Липа дрібнолиста (<i>Tilia cordata</i> Mill.)	23,0	23,6	1,0
11	Осика (<i>Populus tremula</i> L.)	21,1	58,2	2,8
12	Сосна звичайна (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	760,0	1339,4	1,8
13	Сосна кримська (<i>Pinus pallasiana</i> (Lamb.) Holmboe)	1,0	2,9	2,9
14	Тополя канадська (<i>Populus canadensis</i> Moench)	9,8	28,8	2,9
15	Тополя чорна (<i>Populus nigra</i> L.)	1,3	1,2	0,9
16	Ялина європейська (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.)	0,3	0,6	2,0
17	Ясен звичайний (<i>Fraxinus excelsior</i> L.)	13,9	18,3	1,3
18	Ясен зелений (<i>Fraxinus lanceolata</i> Borkh.)	13,6	17,7	1,3
Разом		2550,3	5459,3	2,1

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

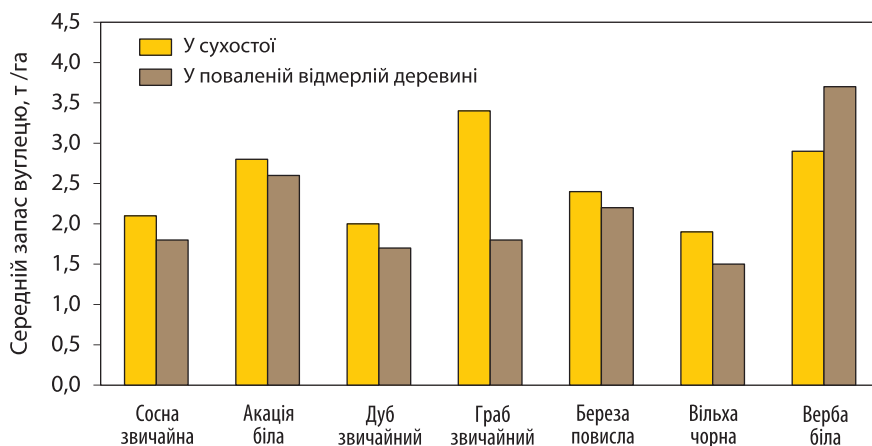
деревними видами становить від $0,9 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ (тополя чорна) до $3,7 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ (верба біла), загалом для всіх деревних видів — $2,1 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Основна частина запасу вуглецю (76,2%) зосереджена в насадженнях двох деревних видів — акації білої і сосни звичайної, які є переважаючими у лісовому фонді досліджуваного об'єкта. У лісових насадженнях із домінуванням акації білої запаси вуглецю поваленій відмерлої деревини становлять 2819,7 т, або 51,6% від загального запасу вуглецю зазначеного компонента відмерлої деревини в насадженнях, де проводився його облік. У насадженнях зазначеного деревного виду середній запас вуглецю був $2,6 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. У лісових насадженнях із переважанням сосни звичайної запаси вуглецю поваленій відмерлої деревини становлять 1339,4 т, або 24,5% від його загального запасу зазначеного компонента відмерлої деревини. У насадженнях сосни звичайної середній запас вуглецю був $1,8 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$.

Згідно з даними звіту [4], станом на 2015 р. середньозважений запас відмерлої деревини становив $11,5 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Середній запас мертвої деревини у лісах України оцінено у $6,3 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ (сухостій — $3,9 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, лежача мертва деревина — $2,4 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$). На відміну від більшості країн Європи для лісів України характерним є переважання саме сухостійної мертвої деревини. Згід-

но з даними власних досліджень у лісових екосистемах НПП «Голосіївський» та НПП «Слобожанський», де проводився облік відмерлої деревини під час лісовпорядкування, середній запас сухоостою був $6,8 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ і $7,5 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, відповідно, захаращеності — $6,7 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ і $5,6 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, відповідно. У НПП «Голосіївський» середній запас мертвої деревини у свіжому дубово-сосновому суборі — $13,6 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, у свіжій грабовій діброві — $7,5 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

У досліджуваних нами насадженнях середній запас сухоостою становив від $5,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ до $20,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, загалом для всіх деревних видів — $10,1 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, поваленій відмерлої деревини — $5,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ – $17,8 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, і $8,5 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, відповідно. Середні запаси вуглецю у сухоості були $2,2 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, у поваленій відмерлій деревині — $2,1 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ (рис.).

Як видно з *рисунка*, для більшості деревних видів характерним є переважання середнього запасу вуглецю, депонованого у сухоості, порівняно з аналогічним показником для поваленій відмерлої деревини. Для одного деревного виду — граба звичайного — таке переважання є досить значним. Водночас, у насадженнях верби білої виявлено домінування середнього запасу вуглецю, депонованого у поваленій відмерлій деревині. Як відомо, запас вуглецю



Середні запаси вуглецю у компонентах деревного детриту у насадженнях переважаючих деревних порід

у компоненті відмерлої деревини залежить від його запасу та розподілу за класами деградації, базисної щільності деревини та вмісту вуглецю. Базисна щільність деревини залежить від деревної породи та класу деградації. Вміст вуглецю у деревині в абсолютно сухому стані є сталою величиною для певної деревної породи. І хоча базисна щільність деревини зменшується зі збільшення стадії розкладу деревини, а також значно відрізняється залежно від деревної породи, середні запаси вуглецю значною мірою визначаються середніми запасами відповідного компонента відмерлої деревини.

Науковці [11] вивчали запаси і динаміку вуглецю в компонентах лісових насаджень Лівобережного Лісостепу України. Дослідниками було встановлено, що середній запас вуглецю у мортмасі дубових лісів становить $8,8 \text{ т-га}^{-1}$, соснових — $5,3 \text{ т-га}^{-1}$.

Автори у роботі [12] досліджували відмерлу деревину у дубових лісових насадженнях Лівобережного Лісостепу України за даними моніторингових ділянок і встановили, що запас сухостійних дерев становить $15,2 \text{ м}^3\text{-га}^{-1}$, поваленої відмерлої деревини — $21,5 \text{ м}^3\text{-га}^{-1}$. Запаси вуглецю у дубових насадженнях мали $3,4$ і $4,5 \text{ т-га}^{-1}$ у сухостійних деревах та поваленій відмерлій деревині, відповідно [12]. Вчені у наукових працях [13] виявили, що у соснових насадженнях Лівобережного Лісостепу України середній запас сухою був $8,6 \text{ м}^3\text{-га}^{-1}$, поваленої відмерлої деревини — $9,1 \text{ м}^3\text{-га}^{-1}$. У досліджуваних лісових насадженнях у відмерлій деревині депоновано приблизно $1,2\text{--}1,5 \text{ т-га}^{-1}$, що становить близько 2,4% запасів вуглецю живої біомаси соснового лісу [13].

На підставі наведеного вище, можна стверджувати, що отримані нами дані щодо запасів вуглецю у відмерлій деревині в лісах Середнього Правобережного При-

дніпров'я загалом узгоджуються з результатами інших подібних досліджень. Водночас, певні відмінності пояснюються різними ґрунтово-кліматичними умовами територій, породним і віковим складом насаджень, використанням різних методик досліджень (одержання польових даних на пробних площах, моніторингових ділянках, або ж використання матеріалів лісовпорядкування). Здебільшого у проаналізованих нами дослідженнях інших авторів використано дані пробних площ, що дають змогу отримати точні дані про запаси вуглецю у всіх компонентах фітомаси і мортмаси, наше ж дослідження обмежене даними, які визначаються під час лісовпорядкування. Слід також враховувати, що використані дані матеріалів лісовпорядкування є орієнтовними, що дають лише загальну інформацію про наявність мертвої деревини у лісовому фонді досліджуваного об'єкта. Для одержання точних даних необхідні польові дослідження.

ВИСНОВКИ

Отже, оцінено загальні та середні запаси вуглецю, акумульовані у компонентах відмерлої деревини у лісових насадженнях Середнього Правобережного Придніпров'я. Більша частка його загального запасу депонована у сухостій (58%) порівняно з захраненістю (42%). Основна частина запасу вуглецю відмерлої деревини міститься у насадженнях двох переважаючих деревних видів — сосни звичайної та акації білої. Середній запас вуглецю у сухостійній деревині на одиниці площі насадження становив $2,2 \text{ т-га}^{-1}$, у поваленій відмерлій деревині — $2,1 \text{ т-га}^{-1}$. Подальші дослідження в цьому напрямі є важливими для формування стратегій збалансованого лісокористування у регіоні з урахуванням основних природоохоронних, екологічних, захисних та ресурсних функцій відмерлої деревини.

ЛІТЕРАТУРА

1. *The State of the World's Forests 2022. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies.* (2022). Rome, FAO. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb9360en>.
2. Паризька угода. Ратифіковано Законом № 1469-

VIII від 14.07.2016. (2016). (Україна). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161#Text.

3. Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (Eds.). (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Japan: IGES. URL:

- <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
4. *State of Europe's Forests 2020*. (2020). Forest Europe. URL: https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2016/08/SoEF_2020.pdf.
 5. Harmon, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Solins, P., Gregory, S. V., Lattin, J. D., ..., Cummins, K. W. (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in ecological Research*, 15, 133–302. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2504-\(03\)34002-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2504-(03)34002-4).
 6. Franklin, J. F., Shugart, H. H., & Harmon, M. E. (1987). Tree death as an ecological process. *Bio Science*, 37(8), 550–556.
 7. Oettel, J., Lapin, K., Kindermann, G., Steiner, H., Schweinzer, K.-M., Frank, G., & Essl, F. (2020). Patterns and drivers of deadwood volume and composition in different forest types of the Austrian natural forest reserves. *Forest Ecology and Management*, 463. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118016>.
 8. Humphrey, J. W., Sippola, A.-L., Lempérière, G., Dodelin, B., Alexander, K. N. A., & Butler, J. E. (2004). Deadwood as an indicator of biodiversity in European forests: from theory to operational guidance. *EFI-Proceedings*, 51, 193–206.
 9. Чорнобров, О. Ю., & Христецька, М. В. (2023). Лісівничо-екологічні особливості розподілу запасів поваленої мертвої деревини у лісових екосистемах Канівського Придніпров'я. *Агро-екологічний журнал*, 4, 53–64. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2023.293753>.
 10. Чорнобров, О. Ю. (2023). Запаси відмерлої сухостійної деревини у лісових насадженнях Середнього Придніпров'я (Лісостеп України). *Агро-екологічний журнал*, 1, 75–84. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2024.299941>.
 11. Пастернак, В. П., Пивовар, Т. С., & Яроцький, В. Ю. (2020). Запаси вуглецю у лісах Лівобережного Лісостепу України за даними інтенсивного моніторингу. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 20, 120–130. DOI: <https://doi.org/10.15421/412011>.
 12. Yarotskiy, V., Pasternak, V., & Nazarenko, V. (2019). Deadwood in the oak forests of the Left Bank Forest-steppe of Ukraine. *Folia Forestalia Polonica, Series A—Forestry*, 61(4), 247–254. DOI: <https://doi.org/10.2478/ffp-2019-0024>.
 13. Yarotskiy, V., Pasternak, V., & Nazarenko, V. (2019). Phytomass and mortmass assessment in pine forests of left-bank forest Steppe of Ukraine. *Silva Balcanica*, 20(2), 63–71.
 14. Котляревська, У. М., & Білоус, А. М. (2017). Депонований вуглець та запас енергії у грубому деревному детриті вільхових лісів Українського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*, 27(4), 39–43. DOI: <https://doi.org/10.15421/40270408>.
 15. Vasylyshyn, R., Lakyda, I., Melnyk, O., Lakyda, M., & Rymarenko, Yu. (2021). Organic carbon in the plant biomass of forests in Kyiv region. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 12(3), 63–71. DOI: <https://doi.org/10.31548/forest2021.03.005>.
 16. Білоус, А. М., Матяшук, Р. К., Білоус, С. Ю., Володимиренко, В. М., & Мацала, М. С. (2017). Динаміка вуглецю біомаси в лісових екосистемах парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення «Феофанія». *Лісове і садово-паркове господарство*, 12. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/licgoc_2017_12_3.
 17. Толстоухов, А. В. (Ред.). (2007). *Екологічна енциклопедія: Т. 1. А-Е*. Київ: ТОВ «Центр екологічної освіти та інформації».
 18. Руденко, Л. Г. (Ред.). (2008). *Національний атлас України*. Київ: ДНВП «Картографія».
 19. Остапенко, Б. Ф., & Ткач, В. П. (2002). *Лісова типологія*. Харків: Вид-во Харк. держ. аграрного університету ім. В.В. Докучаєва.
 20. Neumann, M., Echeverria, S., & Hasenauer, H. (2023). A simple concept for estimating deadwood carbon in forests. *Carbon Management*, 14(1). DOI: <https://doi.org/10.1080/17583004.2023.2197762>.
 21. Stakėnas, V., Varnagirytė-Kabašinskienė, I., Sirgedaitė-Šežienė, V., Armolaitis, K., Araminienė, V., Muraškienė, M., & Žemaitis, P. (2020). Dead wood carbon density for the main tree species in the Lithuanian hemiboreal forest. *European Journal of Forest Research*, 139, 1045–1055. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01306-3>.
 22. FAO. *Basic wood densities of stemwood for boreal and temperate species*. URL: <https://www.fao.org/4/j2132s/j2132s16.htm#TopOfPage>.
 23. Matthews, G. (1993). *The carbon content of trees*. Forestry Commission technical paper 4. Edinburgh.

Стаття надійшла до редакції журналу 03.01.2025

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА УТВОРЕННЯ І ПОВОДЖЕННЯ ЗІ СТОКАМИ У ТВАРИННИЦТВІ

В.О. Пінчук, Ю.В. Подоба, О.В. Тертична

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

e-mail: pinchuk_yo@ukr.net; ORCID: 0000-0003-0646-1580

e-mail: 2375797@gmail.com; ORCID: 0000-0003-1000-7946

e-mail: olyater@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9514-2858

Підприємства з виробництва продукції тваринництва є потужними споживачами води. Проведені розрахунки норм використання води на різні технологічні операції з утримання тварин показують, що середньорічний обсяг рідких стоків тваринництва України за останні два роки становить 150 тис. т і проблема надійного захисту довкілля від забруднення стічними водами актуальна для усіх тваринницьких господарств. Актуальність роботи полягає в аналізі кількості рідких стоків у тваринництві різних напрямів виробництва з метою розроблення сучасних систем поводження з рідкими побічними органічними залишками агровиробництва і переробки сільськогосподарської продукції. У статті проведено оцінку сучасного стану щодо обсягів рідких стоків у тваринництві України, а також досліджено динаміку змін упродовж 1990–2021 рр. На основі даних кількості тваринницьких господарств промислового типу і нормативного споживання води отримані розрахункові дані використання води у тваринництві та об'єму стічних вод. Нині серед галузей тваринництва найвищі витрати води у скотарстві — 42%, свинарстві — 36 і птахівництві — 22%, та пов'язані із такими основними технологічними операціями: напування тварин, промивання каналів системи видалення гною з тваринницьких приміщень, миття годівниць і прибирання приміщень. Серед існуючих в Україні систем зберігання гною сільськогосподарських тварин, рідкий гній нині становить 10,8% від загальної кількості гною і утворюється у свинарстві — 42 і скотарстві — 3%, що пов'язано з технологічними системами утримання тварин. Встановлено, що за регіонами України найбільше стоків у Київській, Черкаській і Полтавській обл., що є наслідком концентрації великих підприємств. Розповсюджені недоліки сучасного поводження з рідкими стоками тваринництва спричиняють втрату органічних речовин і хімічних елементів та створюють передумови локальних екологічних ризиків забруднення ґрунту і водних екосистем, а також сприяють виникненню соціального невдоволення населення, що мешкає біля великих підприємств тваринницького напрямку. Проаналізовано міжнародні і національні санітарні та мікробіологічні норми щодо використання рідких стоків тваринництва й продуктів переробки побічної продукції тваринництва для внесення у ґрунт. Виявлено, що європейські підходи щодо оцінки безпечності стічної води для зрошення відрізняються від української практики за санітарними мікробіологічними характеристиками і за способами контролю якості.

Ключові слова: *аграрне виробництво, стічна вода, гній, санітарні норми, супутниковий моніторинг.*

ВСТУП

Тваринництво є стратегічно важливою галуззю у структурі сільськогосподарського виробництва України, яка забезпечує задоволення потреб населення у харчових продуктах. Водночас діяльність великих промислових ферм та інтенсифікація тваринницької галузі загалом призводить до споживання великої кількості природних

ресурсів та є причиною забруднення навколишнього природного середовища: викиди забруднювальних речовин та парникових газів, засмічення поверхневих та підземних вод, утворення та накопичення значної кількості побічних продуктів тваринного походження, втрата біорізноманіття флори і фауни тощо.

Нині в Україні тваринництво представлено на рівні сільськогосподарських

підприємств, фермерських господарств і господарств населення. Найбільшої уваги вимагають сільськогосподарські підприємства, зокрема промислового типу, бо мають найвищий локальний негативний антропогенний вплив. Згідно із Директивою ЄС 2010/75/ЄС «Про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення)» в країнах Європейського Союзу промисловими вважаються ферми з чисельністю понад: 40 тис. гол. птиці, 2 тис. гол. свиней (живою масою понад 30 кг) або 750 гол. свиноматок, або якщо кількість отриманого молока перевищує 200 т/добу (середнє значення на річній основі). Ферми такої потужності прирівнюються до промислових підприємств через їх численні екологічні проблеми для довкілля та здоров'я людей.

Джерелом забруднення природних водойм стічними водами є поверхневі стоки з території населених пунктів, промислових об'єктів, транспортних шляхів та сільськогосподарського виробництва. За даними Агенції з охорони довкілля США (U.S. EPA) підприємства, які займаються виробництвом продукції тваринництва, класифікуються як об'єкти з концентрованими операціями з годівлі тварин або операціями із обмеженою годівлею тварин, екологічний стан їх стічних вод контролює держава.

Екологічна безпека організації процесу очищення стічної води — це «визначення і обґрунтування» ступеня відповідності наявних або прогнозованих екологічних ризиків до відповідних міжнародних стандартів, які передбачають гармонійний розвиток системи «господарство — природа — людина». Проблема охорони навколишнього середовища потребує прискореного впровадження високоефективних систем захисту природних водних об'єктів усіх рівнів від забруднення внаслідок антропогенного впливу. Для розроблення оптимальних систем поводження з побічною продукцією тваринництва насамперед необхідний аналіз сучасних обсягів рідких стоків та їх просторової локалізації для визначення впливу стічної води агропідприємств на довкілля.

Тому метою досліджень є оцінка антропогенного навантаження за водоспоживанням і водовідведенням у процесі виробництва продукції тваринництва та пошук шляхів раціонального застосування поживних речовин із рідких стоків і повторного використання очищеної води з урахуванням міжнародних вимог.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Виробництво продукції тваринництва на великих тваринницьких комплексах негативно впливають як на навколишнє природне середовище, так і на умови проживання людей, що мешкають у прилеглих до тваринницьких підприємств місцевості [1].

У промисловому тваринництві України щороку скидається значна кількість стічних вод, велика частина з яких — неочищені або недостатньо очищені. На свино- і скотофермах прибирання гною часто проводять змиванням водою, тому до складу таких стоків входять гній і сеча тварин, залишки корму, механічні домішки і вода. На птахопідприємствах залежно від технології виробництва і регіону скидається близько 50% отриманої води [2; 3].

Склад стічних вод тваринництва є полікомпонентним, мають низьку прозорість, сірий колір, неприємний специфічний запах. За даними Zeng et al. [4], з точки зору хімічного складу, стічна вода характеризується насамперед умістом значної кількості неорганічних та органічних сполук у зваженому, колоїдному та розчиненому стані.

Згідно з дослідженнями Доброжан та ін. [5], виявлено високий вміст органічних речовин (більше, ніж у побутових стічних водах); висока концентрація твердих речовин; нітратів і фосфору; зустрічаються антибіотики широкого спектра; синтетичні миючі речовини; засоби дезінфекції; гелімінти та їх яйця; спори *Cryptosporidium*, лямблій; бактерії, патогени *Brucella* і *Salmonella* та ін. Проблема антибіотикорезистентності є надзвичайно небезпечною по всьому світу. 73% усіх антибіотиків, які

використовуються у світі, застосовуються у тваринництві. За промислових технологій виробництва харчових яєць курям використовують антибіотики тетрациклінового і фторхінолонового рядів. Про це свідчать залишковий вміст доксицикліну, енрофлоксацину, або їх суміші в посліді курей. Антибіотикорезистентні бактерії потрапляють у гідробасейн із ферм та тваринницьких господарств із вирощування великої рогатої худоби, свиней і птиці. Існує високий рівень міграції бактерій, стійких до антибіотиків зі зворотною водою очисних споруд.

За даними Williams, Tang et al. [6; 7] стічна вода з підприємств утримання тварин містить неперетравлені поживні речовини і метаболіти тварин, які у розчиненому або зваженому стані знаходяться у рідких стоках. Світові дослідження останніх років акцентують увагу на загальній сукупності розчинених органічних речовин (DOM — dissolved organic matter) у рідких стоках і не намагаються відокремити вплив різних складових, а розглядають вплив усіх складових на природні водні екосистеми. Поживні речовини у стічній воді з місць утримання тварин є поживним середовищем для розвитку біоти, підвищення концентрації амінокислот у природних водоймах спричиняє насамперед збільшення кількості мікроорганізмів.

На думку Preisner et al. [8] пом'якшення евтрофікації внаслідок надмірного скидання біогенних речовин у стічні води, що регулюється обмежувальними правовими вимогами, залишається однією із найважливіших глобальних проблем сьогодення. Незважаючи на імплементацію Водної рамкової директиви, Директиви про міські стічні води та рекомендацій Комісії із захисту морського середовища Балтійського моря (HELCOM), фактичний стан поверхневих вод усе ще є незадовільним. Враховуючи вищесказане, вагомими є пошук альтернативних підходів до захисту поверхневих вод від евтрофікації, що ґрунтується на виборі відповідних технологій видалення поживних речовин зі стічної води.

Дослідження щодо впливу на природні водні екосистеми (Qi et al.) [9] доводять, що рідкі стоки тваринництва мають більшу біологічну активність порівняно з іншими рідкими стоками агровиробництва, і, відповідно, більший вплив на природні біологічні об'єкти. Тому у світі розробляються нові та вдосконалюються різні методи (Grell et al.) [10] відокремлення розчинених поживних речовин від стічної води тваринництва, які базуються на класичних підходах очищення (механічне, фізичне, хімічне, біологічне) комунальних і промислових стічних вод. Стічні води тваринництва містять дуже високі концентрації забруднювальних речовин (Phan et al.) [11], тому застосування методу анаеробного зброджування в поєднанні з біологічним ставком є високоефективним рішенням. Згідно з даними Ребрикова та ін. [12], очищення промислових стічних вод від забруднень органічними сполуками на тваринницьких підприємствах, які переробляють продукти тваринництва ефективно за використання біологічного очищення в аеротенках.

Повторне застосування води після відповідного очищення продовжує її життєвий цикл, тим самим зберігаючи водні ресурси, що широко і успішно практикується в низці країн ЄС. Однак ця практика поки що є нижчою свого потенціалу, оскільки можливо збільшити повторне використання стічної очищеної води для зрошення у декілька разів [13; 14]. Обмежена поінформованість зацікавлених сторін та широкої громадськості про потенційні вигоди, а також відсутність підтримувальної та узгодженої структури для повторного використання води були визначені як дві основні перешкоди поширенню цієї практики в ЄС.

Chuan Jiet Teo et al., 2023 вважають, що важливою є комплексна оцінка життєвого циклу очищення стічних вод тваринництва шляхом моделювання альтернативних сценаріїв управління стічними водами: відсутність очищення та скидання, первинне очищення та скидання та третинне очищення з подальшим частковим повторним використанням води. Всі три сценарії оці-

нюються з точки зору їх екологічної ефективності після оцінки життєвого циклу за допомогою методу екологічного сліду [15].

З розвитком супутникових технологій фотографування поверхні, активно розвивається напрям дослідження стану агроєкосистем за супутниковими даними (Tarariko et al.) [16]. Аналіз фотографій надає можливість оцінити об'єкти агроландшафтів, умови вологозабезпечення, виявити стан посівів, що створює передумови адаптації цих методичних підходів для визначення впливу стічної води на довкілля за станом рослинності навколо підприємств.

Отже, нині зацікавленість світової наукової спільноти охоплюють дослідження якості стічної води тваринництва, оцінку екологічного впливу розчинених поживних речовин на стан водних екосистем та розроблення ефективних стратегій поводження з рідкими стоками тваринництва.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для розрахунку об'єму стічних вод у тваринницьких господарствах використовували норми витрат виробничої води в системах видалення гною з тваринницьких приміщень і для миття годівниць з Відомчих норм технологічного проектування (ВНТП-АПК-09.06). Системи видалення, обробки, підготовки та використання гною [2], ВНТП-АПК-04.05. Підприємства птахівництва [17] і Державних будівельних норм (ДБН В.2.2-1-95). Будівлі і споруди для тваринництва [18].

Кількість гною від сільськогосподарських тварин виявляли на основі виділення нітрогену тваринами різних видів, статеві-вікових груп, поголів'я тварин і хімічного складу гною. Для визначення хімічного складу гною застосовували науково-методичні рекомендації [19]. Для встановлення кількості виділення рідкого гною у тваринництві обчислювали відповідні коефіцієнти з Національного кадастру антропогенних викидів із джерел і абсорбції поглиначами парникових газів в Україні, 2023 [20]. Вихідні дані для розрахунків

брали з електронного ресурсу Державної служби статистики України (URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>).

Для візуалізації антропогенного впливу стічної води агропідприємств України використали супутникові фотографії поверхні навколо підприємств закритого утримання свиней і великої рогатої худоби молочного напрямку, отримані у вільному доступі (URL: <https://www.google.com.ua/maps>), дата знімків 16.01.2025 р.

Розрахунки і побудова картограм проводилися у середовищі програми MS Excel 2021.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За станом на 1 січня 2023 р. 30,5% поголів'я свиней і 42,7% птиці утримуються на промислових фермах з поголів'ям у тисячі, сотні тисяч або мільйонів голів. Упродовж 2008–2021 рр. відбувається зменшення загальної кількості свинарських і птахівничих промислових господарств, водночас зростає поголів'я тварин у цих господарствах. Наприклад, якщо в 2008 р. були господарства з поголів'ям свиней понад 3000 гол., то з 2015 р. з'явилися господарства з поголів'ям свиней більше 10000 гол., у птахівництві з 2018 р. виникли господарства з поголів'ям понад 50 тис. гол. птиці, тобто з року в рік збільшується локальне антропогенне навантаження на НПС від тваринницьких господарств (рис. 1).

Молочні ферми промислового типу нині відсутні в Україні, бо за середньорічного значення отриманого молока у 2021 р. — 5155 кг/рік і максимального поголів'я корів у господарствах близько 1000 гол., добова кількість одержаного молока становить лише 14 т/добу. Вирощування такої кількості тварин вимагає значних природних і енергетичних ресурсів та налагодженої системи утилізації відходів виробництва.

Загальні витрати води на виробництво продукції тваринництва сільськогосподарських підприємств упродовж 1990–2022 рр. становили 59,2–577,3 млн т/рік. Нині серед галузей тваринництва найвищі витрати води у скотарстві — 24,8 млн т/рік,

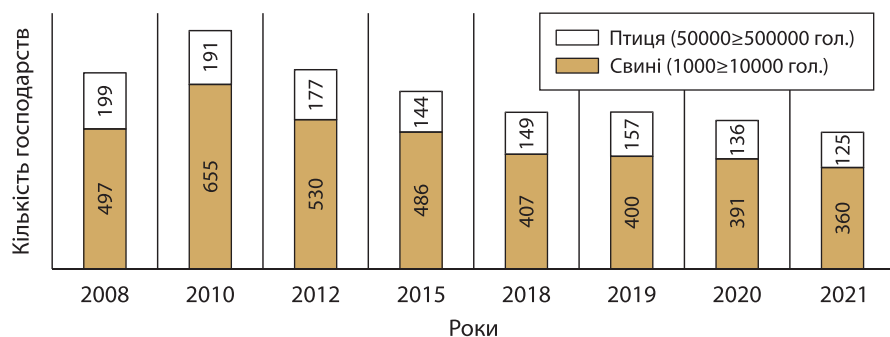


Рис. 1. Кількість тваринницьких господарств промислового типу (1990–2021 рр.)

свинарстві – 21,3 і птахівництві – 13,1 млн т/рік (рис. 2).

Згідно з Відомчими нормами технологічного проектування (ВНТП) у тваринництві витрати води пов'язані із такими

основними технологічними операціями: напування тварин, промивання каналів системи видалення гною з тваринницьких приміщень, миття годівниць і прибирання приміщень (рис. 3).

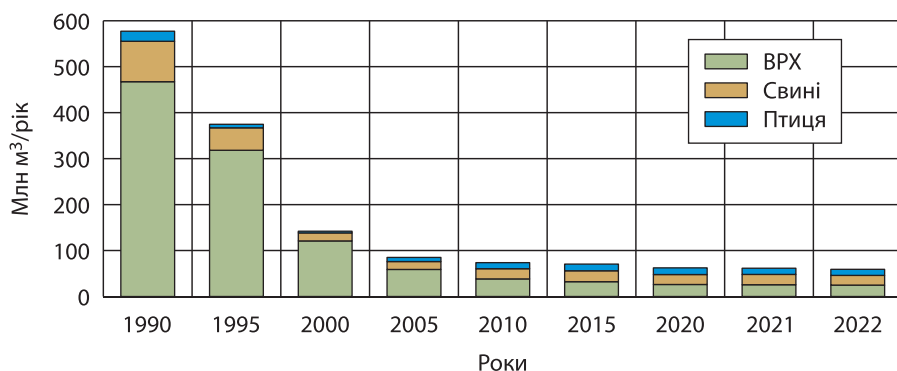


Рис. 2. Витрати виробничої води підприємств тваринництва різної спеціалізації

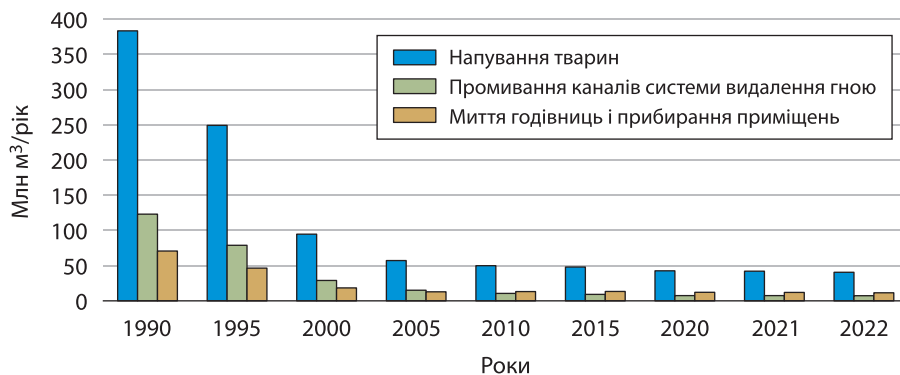


Рис. 3. Витрати води за технологічними операціями підприємств тваринництва

У скотарстві найбільше води витрачається на напування тварин — у середньому 66%, на промивання каналів системи видалення гною з тваринницьких приміщень — 11% і на миття годівниць і прибирання приміщень — 22%; у свинарстві — 70%, 22% і 1% відповідно; у птахівництві в середньому 70% води йде на напування і 30% на миття годівниць і прибирання приміщень.

В Україні тваринництво має певну локалізацію за адміністративними областями і вочевидь, що витрати води пов'язані з різною локалізацією тваринництва за спеціалізацією господарств і поголів'ям тварин різних видів. Зокрема, найвищі витрати води у Київській (6950,0 тис. м³/рік), Черкаській (6349,2 тис.) і Вінницькій (5941,0 тис. м³/рік) обл. Найнижчі — у Закарпатській (222,0 тис. м³/рік), Луганській (429,8 тис.) і Чернівецькій (522,1 тис. м³/рік) обл. відповідно (рис. 4).

Внаслідок проведення технологічних операцій, як-от промивання каналів системи видалення гною з тваринницьких приміщень, миття годівниць і прибирання

приміщень, до складу стоків можуть входити гній і сеча тварин, залишки корму, механічні домішки і вода.

Нині найбільше гною (посліду) виділяється у скотарстві — 70%, свинарстві — 25 і птахівництві — 5% від загальної кількості. На вміст органічних залишків у рідких стоках тваринництва впливає використання тієї чи іншої системи видалення гною сільськогосподарських тварин у різних категоріях господарств (табл.).

За системами зберігання, рідкий гній сільськогосподарських тварин наразі становить 10,8% від загальної кількості гною і утворюється у свинарстві — 42 і скотарстві — 3%.

Розраховано динаміку об'єму стічних вод сільськогосподарських підприємств за основними видами тварин (рис. 5).

У скотарстві і свинарстві до складу стоків входить сеча, вміст якої у складі гною великої рогатої худоби сягає у середньому 32% від загальної маси і 38% у свиней відповідно та вода на промивання каналів системи видалення гною і на миття годівниць і прибирання приміщень. У птахівни-

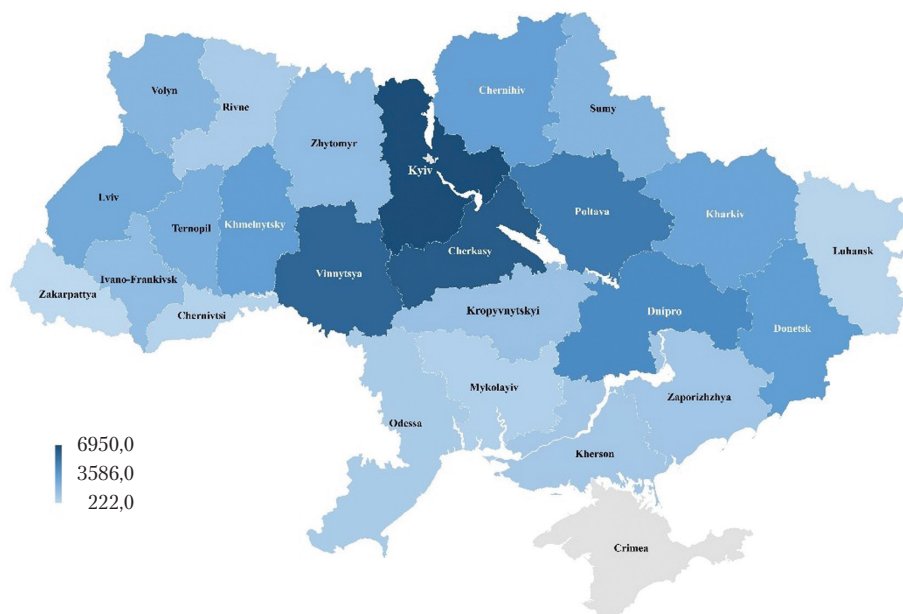


Рис. 4. Загальні витрати води (тис. м³/рік) підприємствами тваринництва за адміністративними областями України (2021 р.)

Кількість рідкого гною від сільськогосподарських тварин різних видів усіх категорій господарств України (2021 р.)

Вид тварин	Загальний гній усіх типів, тис. т	Рідкий гній, тис. т	Частка рідкого гною від загальної кількості, %
Велика рогата худоба	42645,2	1380,1	3,2
Свині	10928,9	4592,1	42,0
Птиця	3424,5	—	—
Разом	56998,6	6176,2	10,8

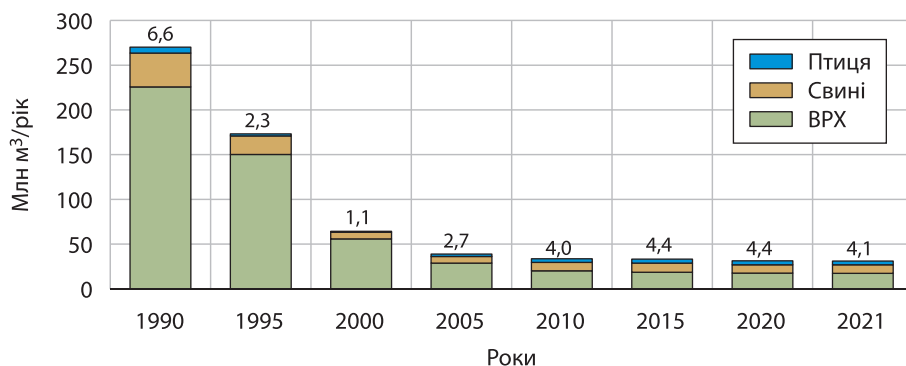


Рис. 5. Динаміка об'єму стічних вод сільськогосподарських підприємств за основними видами тварин (1990–2021 рр.)

цтві до складу стоків входить лише вода на миття годівниць і прибирання приміщень. Встановлено, що впродовж 1990–2021 рр. сільськогосподарськими підприємствами тваринництва щороку скидалося 31,0–270,1 млн м³ стічних вод. Нині найбільше стоків у скотарстві — 56%, свинарстві — 31 і птахівництві — 13% від загальної кількості.

За адміністративними областями найбільше стоків скидається у Київській (3259,1 тис. м³/рік), Черкаській (3056,6 тис.) і Полтавській (2889,5 тис. м³/рік) обл. Найменше — у Закарпатській (105,5 тис. м³/рік), Чернівецькій (246,4 тис.) і Луганській (251,0 тис. м³/рік) обл. відповідно (рис. 6).

За даними супутникового моніторингу у кожному підприємстві по-різному вирішують проблему утилізації рідких стоків. Стічні води можуть використовуватися для зрошення після відповідного очищення (механічного, хімічного та/або біологічного) і підготовки (усереднення, розбавлення,

знезараження) з урахуванням ґрунтових і кліматичних характеристик території [21]. ВНТП [2] передбачають очищення стоків підприємств тваринництва, зокрема за використання анаеробно-аеробних методів біологічного очищення (рис. 7) та подальшого доочищення за застосування біологічних і рибних ставків.

Однак на практиці переважно спостерігається нераціональне поводження з рідкими стоками тваринництва. Здебільшого все зводиться до відведення стічної води у низинні місця неподалік підприємств. Рідкі стоки, що зливаються в яри, поступово всмоктуються у ґрунт, розподіляються на відстані декілька кілометрів від точки зливу і удобрюють рослинність. Місце скиду і шлях руху стоків можна помітити навіть по забарвленню рослинності на супутникових знімках великих ферм (рис. 8).

Другий варіант — коли стічні води утворюють анаеробні лагуни, де відбувається поступове відстоювання і часткове очищення стоків завдяки діяльності при-

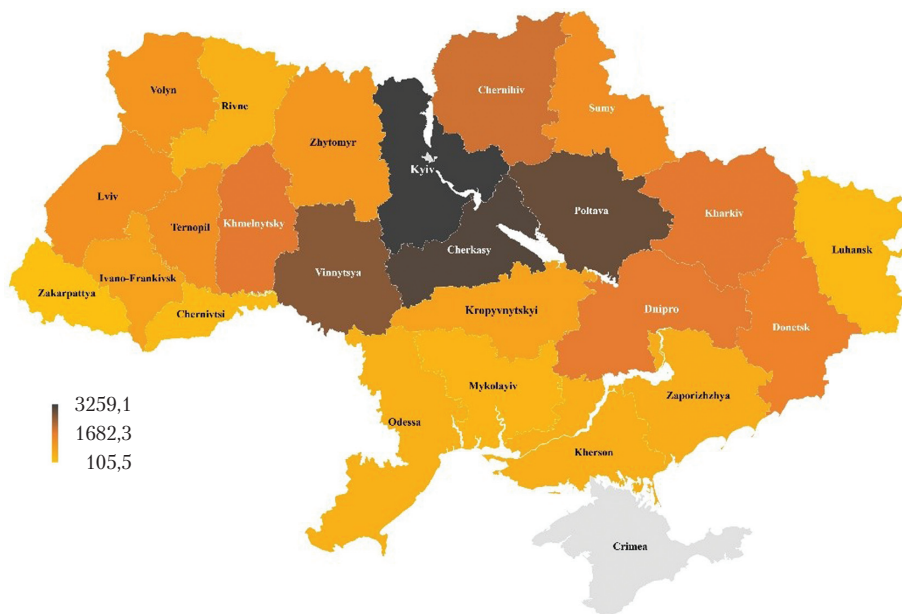


Рис. 6. Об'єм стічних вод підприємств тваринництва за адміністративними областями України (2021 р.)



Рис. 7. Супутниковий моніторинг станції аерації рідких стоків тваринництва і мулового майданчику (показані синьою і жовтою стрілками відповідно)



Рис. 8. Супутниковий моніторинг стоку стічної води у низинні місця

Примітка: червоними стрілками показано точки відведення води з ферми і просочування у ґрунт із компостної ями.

родних мікроорганізмів, мікроводоростей, зоопланктону (рис. 9).

На дні лагуни залишається шар мулу, який із часом ущільнюється, стає твердим, що ускладнює його видобуток і використання як органічного добрива. В обох випадках частина органічних речовин і хімічних елементів з кормів є невикористаною або втраченою.

Розглянемо вимоги ЄС і України щодо застосування стічних вод для удобрення ґрунту. Регламент (ЄС) No 2020/741 Європейського Парламенту та Ради від 25 травня 2020 р. про мінімальні вимоги щодо повторного використання води [22]. Метою регламенту є гарантувати, що «відновлена» вода є безпечною для сільськогосподарського зрошення, що, своєю чергою, забезпечу-

ватиме високий рівень захисту довкілля, здоров'я населення та тварин, сприятиме циркулярній економіці, підтримуватиме заходи з адаптації до зміни клімату та слугуватиме досягненню цілей Водної рамкової директиви, оскільки позитивно впливатиме на питання дефіциту водних ресурсів та пов'язаний із цим тиск на водні ресурси, що також зумовить ефективне функціонування внутрішнього ринку в ЄС.

Незважаючи на те, що в цьому Регламенті немає згадки про використання стічної води з місць утримання тварин і не зроблений наголос на конкретні джерела стічної води, у ньому містяться універсальні мінімальні вимоги до залучення міських та промислових стічних вод для цілей зрошення після їх очищення і доведення їх показників до вимог цього Регламенту. За визначенням [23], очищена стічна вода від сільськогосподарських підприємств птахівництва, свинарства, великої рогатої худоби, підпадають під поняття «промислова стічна вода», застосування якої для зрошення регламентується цим документом. Також згідно з додатком 3 [24] до промислового сектору належать: переробка молока; виробництво плодоовочевої продукції; виробництво та розлив безалкогольних напоїв; переробка картоплі; м'ясна промисловість; пивоварні; виробництво алкоголю та лікеро-горілчаних виробів; виробництво кормів для тварин із продуктів рослинного походження; виробництво желатину і клею зі шкур, шкіри і кісток; солодові будинки; рибопереробна промисловість.

Залежно від напрямку використання рослин, що поливаються вторинною водою, і методу зрошення [22], така вода поділена на 4 класи (A, B, C, D), перші три класи з найсуворішими вимогами характеризуються переважно можливістю контакту цієї води з частинами рослин, що вживаються у їжу в сирому вигляді. До класу D з найбільш м'якими обмеженнями віднесені всі культури, що піддаються подальшій переробці (термічній обробці) та насіннєві посіви.

Ключовими обмеженнями [22] переважно є ступінь біологічного забруднення, зокрема бактеріями кишкової палички



Рис. 9. Супутниковий моніторинг відведення стічної води у лагуни і штучні стави

Escherichia coli (кількість бактерій у 100 мл: клас A ≤ 10 , клас B ≤ 100 , клас C ≤ 1000 , клас D ≤ 10000), враховується біохімічна активність очищеної води на основі показника біологічного споживання кисню (БСК₅): клас A ≤ 10 мг/л, класи B, C, D ≤ 25 мг/л, а також деякі фізичні показники, як-от загальна кількість зважених (завислих) речовин (клас A ≤ 10 мг/л, класи B, C, D ≤ 35 мг/л), каламутність для класу A ≤ 5 оптичних одиниць. Якщо очищена вода залучається для зрошення пасовищ або кормових посівів, то регламентується наявність кишкових нематод (яйця гельмінтів): ≤ 1 яєць/л. Там, де існує ризик розпилення і утворення аерозолі вторинної води за зрошення, в таких місцях контролюється концентрація бактерій *Legionella* spp., що можуть викликати пневмонію.

Передбачено постійний моніторинг показників, наприклад, для кишкової палички він проводиться раз на тиждень для води класу A і B, та двічі на місяць для води класу C і D. Також додатково гарантовано підтверджувальний перевірочний моніторинг відновленої води класу A для зрошення на основі визначення індикаторних мікроорганізмів, пов'язаних із кожною групою збудників, а саме бактеріями, вірусами і найпростішими. Обраними мікроорганізмами-індикаторами є кишкова паличка для патогенних бактерій, F-специфічні коліфаги, соматичні коліфаги або коліфаги для патогенних вірусів, а також спори *Clostridium perfringens* або

спороутворювальні сульфїтредукувальні бактерії для найпростіших [22].

Регламент про повторне використання води почав діяти з 26 червня 2023 р. Регламент дає можливість державам-членам ухвалити рішення не практикувати повторне застосування води на своїй території або обмежити повторне використання води в певних районах з причин, пов'язаних із географічними та кліматичними умовами, тиском та станом їхніх водних ресурсів або через екологічні та ресурсні витрати на відновлену воду та інші водні ресурси.

Певні держави-члени, де ресурси прісної води є багатими, а попит на зрошення низьким, планують не допускати повторного використання води для зрошення у своїх країнах. А деякі держави-члени ще не ухвалили остаточного рішення, оскільки витрати на ресурси та інфраструктуру все ще оцінюються [14].

Українське законодавство передбачає повторне застосування очищених стічних вод та осаду стічних вод за умови дотримання нормативів гранично допустимих концентрацій забруднювальних речовин [24]. Однак вимоги до стічних вод для зрошення у ньому не прописані, а вказано, що вони мають відповідати вимогам ДСТУ 7369:2013 «Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрошення та удобрення» [25]. Втім згаданий стандарт ДСТУ 7369:2013 не поширюється на стічні води та осади виробництв хімічної галузі промисловості, зокрема хімічного волокна, хімічних засобів захисту рослин, нафтохімічних підприємств тощо, а також відходів тваринницьких комплексів.

У національному галузевому стандарті СОУ 41.00-37-688:2007 «Води стічні та їх осади в тваринництві та птахівництві. Компости на їх основі» [21] існують деякі обмеження на використання стічних вод підприємств тваринництва для зрошення, а також осаду стічних вод та компостів на їх основі, — наприклад не допускається їх внесення у водоохоронних, заповідних, санітарно-курортних та рекреаційних зонах; біля водозаборів, або якщо є велика вірогідність прямого потрапляння речо-

вин у підземні води; на полях, призначених для вирощування сільськогосподарських культур, що вживаються людьми у сирому вигляді (овочів, баштанних культур). Цей стандарт встановлює основні вимоги до стічних вод та їх осадів, що утворюються тільки за промислового виробництва продукції тваринництва та птахівництва, а також компостів на їх основі для подальшого застосування для зрошення та удобрення сільськогосподарських угідь.

Стандарт призначено, аби встановити на галузевому рівні обов'язкові екологічні критерії, правила та регламенти щодо можливості очищення стічних вод промислового тваринництва і птахівництва до якості, що відповідає екологічним і агрономічним критеріям води для зрошення, а також критерії складу осадів стічних вод та компостів на їх основі для безпечного використання у сільськогосподарському виробництві.

Для зрошення дозволено використовувати очищену стічну воду, яку віднесено до I чи II класу придатності залежно від вмісту 21-го показника вмісту хімічних елементів, переважно металів.

Воду I класу можна застосовувати для зрошення без обмежень за екологічними критеріями. Вода II класу обмежено придатна і може бути використана для зрошення за умов екологічного контролю та обов'язкового застосування комплексу агроеліоративних заходів.

Вимоги до мікробіологічного та паразитологічного складу стічних вод для зрошення [21] складаються з контролю бактерій групи кишкових паличок, колі-фагів, лактозопозитивних кишкових паличок, патогенних мікроорганізмів, життєздатних яєць геогельмінтів (аскарид, волосоголовців, анкілостомід), життєздатних яєць біогельмінтів (онкосфери геніїд, яйця фасціол), життєздатних цист кишкових патогенних найпростіших (цисти лямблій, балантидій, оосцити криптоспоридій).

Осади стічних вод, що використовуються з метою удобрення угідь сільськогосподарського призначення, повинні відповідати санітарно-гігієнічним вимогам, у яких

індекс бактерій групи кишкової палички (індекс БГКП) не більше 50000 КУО/дм³ та не дозволені патогенні мікроорганізми, сальмонели, життєздатні яйця гельмінтів. У разі невідповідності їх складу вказаним вимогам проводять додаткові заходи їх знезараження і/або компостування. Для встановлення удобрювальної цінності кожної партії осаду стічних вод, однорідної за своїм походженням, та розрахунку доз внесення органічних добрив мають бути встановлені такі показники, як рН, вміст сухої і органічної речовини, вуглецю, азоту, фосфору, калію, кальцію.

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень визначено, що на сучасному етапі розвитку тваринництва в Україні, актуальними є такі напрями раціонального використання водних ресурсів — відтворення ресурсів прісної води; розробка елементів технологій, які дають можливість запобігти забрудненню природних водоймищ і скорочують споживання питної води не за призначенням; адаптація існуючих технологій біологічного очищення стоків для отримання компонентів добрив із твердої фракції очищення.

Встановлено, що впродовж останніх 30 років в Україні спостерігається позитивна

динаміка розвитку тваринництва промислового типу, що підвищує локальне антропогенне навантаження на НПС, зокрема збільшенням кількості побічної продукції у місці знаходження великого підприємства з утримання тварин.

У районах розташування крупних тваринницьких підприємств джерелом локального забруднення довкілля є не тільки гній, а й стічна вода у щорічній загальній кількості впродовж 1990–2021 рр. — 31,0–270,1 млн м³. Рідкий гній може входити до складу рідких стоків тваринництва, і становить 10,8% від загальної його кількості у скотарстві і свинарстві.

На прикладі супутникових фотографій підприємств з утримання тварин у приміщеннях показано перспективність дослідження локального впливу стічної води на довкілля за використання супутникового агроекологічного моніторингу.

Аналіз нормативних актів ЄС і України у сфері поводження зі стічною водою агропідприємств дав змогу виявити, що європейські підходи щодо оцінки безпечності стічної води для зрошення істотно відрізняються від української практики як за переліком показників, так і за їх значенням, і загальними правилами щодо оцінювання і контролю безпечності застосування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pinchuk, V. O., Palapa, N. V., Tertychna, O. V., Kotsavska, K. V., & Mineralov, O. I. (2019). The ecological state of rural residential areas of Kyiv region in the intensive livestock farming zone. *Таврійський науковий вісник. Сер.: Сільськогосподарські науки*, 107, 341–346. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.45>.
2. Міністерство аграрної політики України. (2006). Відомчі норми технологічного проектування ВНТП-АПК-09.06. Системи видалення, обробки, підготовки та використання гною. Київ: Мінагрополітики.
3. Про затвердження Ветеринарно-санітарних правил для птахівничих господарств і вимог до їх проектування. Наказ Головного державного інспектора ветеринарної медицини № 53 (2001). (Україна). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0565-01>.
4. Zeng, Z., Zheng, P., Ding, A., Zhang, M., Abbas, G., & Li, W. (2017). Source analysis of organic matter in swine wastewater after anaerobic digestion with EEM-PARAFAC. *Environ Sci Pollut. Res.*, 24, 6770–6778. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8324-3>.
5. Доброжан, Ю. В., & Шевченко, Л. В. (2018). Вміст антибіотиків у посліді курей промислового стада за інтенсивної технології виробництва продукції птахівництва. *Ветеринарна біотехнологія*, 32 (2), 122–129. DOI: [https://doi.org/10.31073/vet_biotech32\(2\)-14](https://doi.org/10.31073/vet_biotech32(2)-14).
6. Williams, C. J., Frost, P. C., Morales-Williams, A. M., Larson, J. H., Richardson, W. B., Chiandet, A. S., & Xenopoulos, M. A. (2016). Human activities cause distinct dissolved organic matter composition across freshwater ecosystems. *Glob. Chang. Biol.*, 22, 613–626. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13094>.
7. Tang, J., Li, X., Cao, C., Lin, M., Qiu, Q., Xu, Y., & Ren, Y. (2019). Compositional variety of dissolved organic matter and its correlation with water quality in peri-urban and urban river watersheds. *Ecol. Indic.*, 104, 459–469. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.05.025>.

8. Preisner, M., Neverova-Dziopak, E., & Kowalewski, Z. (2021). Mitigation of eutrophication caused by waste-water discharge: A simulation-based approach. *Ambio*, 50, 413–424. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01346-4>.
9. Qi, G., Zhang, B., Tian, B., Yang, R., Baker, A., Wu, P., & He, S. (2023). Characterization of Dissolved Organic Matter from Agricultural and Livestock Effluents: Implications for Water Quality Monitoring. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20, 5121. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph20065121>.
10. Grell, T., Marchuk, S., Williams, I., McCabe, B.K., & Tait, S. (2023). Resource recovery for environmental management of dilute livestock manure using a solid-liquid separation approach. *Journal of Environmental Management*, 325, 116254 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116254>.
11. Phan, C. N., Struzyński A., Kowalik T., & Hoang, V. P. (2022). Assessment of livestock wastewater treatment efficiency when using an anaerobic digester combined with a biological pond in Nam Anh, Nghe An, Vietnam. *Acta Sci. Pol.*, 21(2), 3–16. DOI: <http://dx.doi.org/10.15576/ASP.FC/2022.21.2.3>.
12. Ребрикова, П. А., Шидловська, О. А., Жолобак, Н. М., & Мокроусова, О. Р. (2018). Біотехнологічні аспекти очищення стічних вод підприємств, що переробляють продукти тваринництва. *Наукові праці НУХТ*, 24(6), 42–49. DOI: <http://dx.doi.org/10.24263/2225-2924-2018-24-6-7>.
13. FAO's work to tackle the climate crisis. (2023). *Agriculture solutions to climate change*. Rome, Italy. 16 p. Retrieved from <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc8055en>.
14. *Water reuse*. Managing water resources more efficiently and facilitating water reuse in the EU. Retrieved from https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-reuse_en#objectives.
15. Teo, C. J., Karkou, E., Vlad, O., Vyrkou, A., Savvakis, N., Arampatzis, G., & Angelis-Dimakis, A. (2023). Life cycle environmental impact assessment of slaughterhouse wastewater treatment. *Chemical Engineering Research and Design*, 200, 550–565. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2023.11.016>.
16. Tarariko, O. H., Cruse, R. M., Iliencko, T. V., Kuchma, T. L., Kozlova, A. O., Andereiev, A. A., ... Velychko, V. A. (2024). Impact of climate changes on agrosources of Ukrainian Polissia based on geospatial data. *Agricultural Science and Practice*, 11(2), 3–29. DOI: <https://doi.org/10.15407/agrisp11.02.003>.
17. Міністерство аграрної політики України (2005). Відомчі норми технологічного проектування ВНТП-АПК-04.05. Підприємства птахівництва. Київ: Мінагрополітики. 90 с.
18. ДБН В.2.2-1-95 Будинки і споруди. Будівлі і споруди для тваринництва. Затверджено наказом від 27.01.1995 №17.
19. Войтенко, Л., Горбатенко, В., Жирнов, В., Канченко, О., Канченко, Ю., Киценко, П., ... Ярошук, Ю. (2009). *Науково-методичні рекомендації: Виробництво органічних добрив*. Київ: Видавничий відділ НУБіП України.
20. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. (2023). *Ukraine's Greenhouse gas inventory 1990–2021*. Kyiv. Retrieved from <https://unfccc.int/documents/628276>.
21. Міністерство аграрної політики України. (2007). Води стічні та їх осадки в тваринництві та птахівництві. Компости на їх основі: Стандарт Мінагрополітики України СОУ 41.00-37-688:2007. Київ: Мінагрополітики.
22. Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse. *Official Journal of the European Union* (2020). (European Union). Retrieved from <http://data.europa.eu/eli/reg/2020/741/oj>.
23. Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment. *Official Journal of the European Communities No L 135/40* (1991). (European Union). Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271>.
24. Порядок повторного використання очищених стічних вод та осаду стічних вод за умови дотримання нормативів гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 341 (2018). (Україна). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0075-19#Text>.
25. ДСТУ 7369:2013. Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадків для зрошування та удобрювання. (2013). [Чинний від 2014-01-01]. Київ.

Стаття надійшла до редакції журналу 03.01.2025

АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВСТАНОВЛЕННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ З ПЕРЕРОБЛЕННЯ ГНОЮ У ФЕРМЕРСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

О.В. Мудрак¹, Т.В. Морозова^{2,3}

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

²Національний університет водного господарства і природокористування
(м. Рівне, Україна)

³Національний транспортний університет (м. Київ, Україна)
e-mail: tetiana.morozova@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4836-1035

У статті проаналізовано вплив умов утримання тварин, хімічного складу гною і якісних параметрів біомаси на ефективність роботи біогазових установок (БГУ). Встановлено, що стійлово-табінна система утримання тварин забезпечує кращі умови для отримання гнойової біомаси з високими якісними характеристиками, що робить її найбільш перспективною для використання в БГУ. З'ясовано, що оптимізація параметрів біомаси, як-от співвідношення С:N, концентрація сухої речовини та вміст органічної речовини, сприяє підвищенню рентабельності виробництва біогазу. Результати дослідження підтверджують, що впровадження біогазових установок дає змогу зменшити антропогенне навантаження на компоненти довкілля, поліпшити екологічний стан навколишнього середовища, підвищити енергоефективність господарств і знизити собівартість отриманої продукції. Однак високі інвестиційні витрати та тривалий термін окупності проєкту обмежують їх широке використання. Рекомендовано фермерським господарствам оцінювати доцільність впровадження БГУ з урахуванням специфіки виробничих умов, а подальші дослідження спрямувати на адаптацію екологічних технологій для малих і середніх господарств та розробку фінансових механізмів підтримки. Використання біогазових установок у фермерських господарствах зумовлює підвищення енергоефективності, зменшення антропогенного навантаження на компоненти довкілля та покращання економічних показників діяльності. Подальші дослідження мають бути спрямовані на адаптацію БГУ до екологічних умов малих і середніх фермерських господарств, а також на розробку ефективних фінансових механізмів для їхнього впровадження. Показано, що стійлово-табінна система утримання тварин забезпечує кращі якісні параметри гнойової біомаси, сприяючи підвищенню її придатності для анаеробного зброджування в біогазових установках (БГУ). Ця система дає можливість отримати на 2777 т більше гнойової маси на рік порівняно зі стійлово-пасовищною системою. Введення біогазових установок знижує екологічне навантаження на довкілля та зумовлює енергетичну автономію господарств. Використання залишкової біомаси як біодобрива зменшує витрати на виробництво культурних рослин, підвищуючи економічну ефективність фермерських господарств.

Ключові слова: гноєва біомаса, стійлово-табінне утримання, рентабельність, енергоефективність, екологічна стабільність, анаеробне зброджування.

ВСТУП

У сучасних умовах фермерські господарства стикаються з викликами, пов'язаними зі зростанням цін на енергоносії, необхідністю ефективної утилізації органічних відходів та дотриманням екологічних стандартів і нормативів. Використання біогазових установок (далі — БГУ) є перспективним напрямом, що дає змогу

комплексно вирішувати ці проблеми. БГУ перетворюють органічні відходи сільського господарства (гній, залишки рослинництва, харчові відходи) на біогаз і органічне добриво. Біогаз, що складається переважно з метану (55–75%) і вуглекислого газу, є відновлюваним джерелом енергії, яке може застосовуватися для виробництва електроенергії, тепла або як заміна природного газу [1].

Сучасні виклики в аграрному секторі вимагають пошуку ефективних і «екологічно чистих» способів утилізації органічних відходів. Одним із перспективних рішень є БГУ, що дають можливість не лише зменшити негативний вплив на компоненти довкілля, але й отримати додаткові джерела енергії. Впровадження таких технологій особливо актуальне для фермерських господарств, що мають значні обсяги гнойової біомаси.

Мета роботи — розробка і обґрунтування перспектив використання біогазових установок у фермерських господарствах для підвищення енергоефективності, зменшення негативного впливу на компоненти довкілля, оптимізації утилізації відходів та посилення економічної рентабельності агровиробництва.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У сучасному світі енергія є важливим та стратегічно цінним ресурсом. Оскільки традиційні джерела енергії обмежені й швидко виснажуються, дослідження альтернативних і сталих джерел енергії набуває дедалі більшої актуальності [2–4]. Біогазова енергетика є одним із найперспективніших напрямів, що доповнює такі відновлювані джерела, як енергія вітру і сонця [5]. На відміну від вітрової чи сонячної енергетики, біогазові установки не потребують складної інфраструктури, що робить їх доступними для регіонів із різноманітною топографією і обмеженими ресурсами [6]. Біогаз є джерелом енергії, яке не залежить від погодних умов, що забезпечує стабільність і безпеку енергопостачання. Біомасу можна вважати одним із найперспективніших відновлюваних джерел енергії завдяки її значному потенціалу. Важливим кроком у цій сфері є використання всіх доступних органічних відходів і побічних продуктів сільськогосподарського виробництва для зменшення антропогенного навантаження та поліпшення екологічного стану [7].

Використання біогазових установок має численні переваги:

- *екологічна складова*: скорочення викидів парникових газів, зокрема метану, який утворюється за природного розкладання органіки. Біогазові установки також сприяють зменшенню залежності від ископного палива [8; 9];
- *енергетична ефективність*: біогаз може використовуватися для виробництва електроенергії, тепла, а також як паливо для транспорту. Тепло, що утворюється в когенераційних установках, можна застосовувати для опалення або сушіння дігестату [10];
- *економічна вигода*: зменшення витрат на утилізацію відходів та енергоресурси. Однак, попри значний потенціал, існують і певні виклики:
- *фінансові бар'єри*: високі початкові інвестиції у створенні біогазової установки;
- *регіональні обмеження*: доступність органічних відходів для виробництва біогазу залежить від регіональних умов;
- *політична підтримка*: недостатнє сприяння з боку держави може перешкоджати впровадженню технологій [11].

Перспективи розвитку. Дорожня карта розвитку біоенергетики України до 2050 р. передбачає активне запровадження біогазових технологій та нарощування виробництва біогазу і біометану. Згідно з прогнозами, фактичне виробництво біометану в Україні може досягти 1 млрд м³ у 2030 р. та збільшитися до 4,5 млрд м³ у 2050 р. На сучасному етапі особливо актуальним є питання енергетичної безпеки як на глобальному, так і на регіональному рівнях. Це набуває особливої гостроти в умовах тривалих військових дій, унаслідок яких цілеспрямовано знищується енергетична інфраструктура України. Відтак, нагальною необхідністю є диверсифікація джерел енергопостачання та пошук альтернативних методів виробництва енергії [12].

Перспективність та доцільність розвитку біогазових технологій повністю відповідає глобальним цілям у сфері боротьби зі зміною клімату, включаючи декарбонізацію та запобігання глобальному потеплінню. Крім того, використання біогазу сприяє покращанню екологічного стану

довкілля, зокрема якості атмосферного повітря, ґрунтового покриву та водних ресурсів, а також забезпечує розширений доступ до відновлюваних джерел енергії [13]. Станом на 2022 р. в Україні функціонують приблизно 70 біогазових установок із загальною потужністю понад 135 МВт. Виробництво біогазу нині базується на використанні обмеженого спектра основних видів сировини, зокрема курячого посліду, свинячого гною, гною великої рогатої худоби, силосу та жому буряків цукрових. З огляду на зростання потреби в енергетичній незалежності і зміну клімату, біогазові установки відіграють ключову роль у переході до сталої енергетики. Інтенсивний пошук нових субстратів для виробництва біогазу, як-от відходи харчової промисловості чи органіка зі сміттєзвалищ, відкриває нові можливості для розвитку галузі. У країнах із нестабільними ринками енергоресурсів біогазові установки можуть забезпечити стабільне постачання тепла та електроенергії, зумовлюючи енергетичну безпеку [8].

Біогазові установки є перспективним рішенням для фермерських господарств і регіонів, які прагнуть зменшити антропогенне навантаження на компоненти довкілля, поліпшити екологічний стан навколишнього середовища, підвищити енергоефективність і забезпечити стабільність енергопостачання. Успішне запровадження цієї технології потребує подальших досліджень, інвестицій та політичної підтримки.

Екологічні переваги. Використання БГУ сприяє зменшенню викидів парникових газів, як-от метан і вуглекислий газ, що утворюються під час природного розкладання органічних відходів. Дослідження показують, що фермерські господарства, які впровадили біогазові установки, зменшили свої викиди парникових газів на 30–50% [14]. Окрім того, кінцевий продукт — дігестат — є високоякісним органічним добривом, яке знижує потребу у хімічних добривах, що, своєю чергою, зменшує забруднення ґрунтів та поверхневих і підземних вод [15; 16].

Економічна доцільність. Застосування БГУ дає змогу знизити витрати на енергоресурси та утилізацію відходів. Згідно з дослідженнями, середній фермерський господарський комплекс із 100 гол. великої рогатої худоби може виробляти до 50–60 м³ біогазу на добу, що еквівалентно близько 30–35 м³ природного газу [14]. Враховуючи зростання цін на енергоносії, це гарантує значну економію коштів.

Перспективи впровадження. Для фермерських господарств України, які мають великий потенціал у сфері виробництва органічних відходів, запровадження БГУ може стати ефективним інструментом сталого розвитку. Підтримка держави у вигляді субсидій і «зелених» тарифів на електроенергію з відновлюваних джерел додатково стимулює фермерів до впровадження цієї технології.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Характеристика фермерського господарства. Фермерське господарство розташоване в рівнинній зоні України, що характеризується помірним кліматом. Ґрунтовий покрив переважно представлений чорноземами, зі вмістом гумусу у верхньому шарі від 1,8% до 3,2%. Рельєф угідь здебільшого рівнинний, з окремими підвищеннями та ярами, що створює сприятливі умови для механізованого обробітку. Ознак ерозійних процесів на території господарства не зафіксовано.

Кліматичні умови регіону визначаються середньорічною температурою повітря +5,6°C, максимальними значеннями +35,8°C та мінімальними –29,5°C. Середньорічна кількість опадів становить 495 мм. Домінуючими є західні та північно-західні вітри, а відносна вологість повітря варіюється в межах 60–65%. Тривалість вегетаційного періоду сягає 180–200 днів, що забезпечує сприятливі умови для вирощування сільськогосподарських культур.

Площа ріллі господарства становить 2180,4 га. Основними напрямками діяльності є вирощування зернових, технічних, кормових та овочевих культур. Найбільшу

частку посівних площ займають зернові культури (43,7%). Врожайність основних сільськогосподарських культур демонструє позитивну динаміку, зокрема, врожайність буряка цукрового зросла на 179,5% упродовж останніх трьох років.

У галузі тваринництва в рік дослідження поголів'я великої рогатої худоби було 1410 гол., що на 6,4% перевищує показники попереднього року. Надій молока на одну корову збільшився на 50%, досягнувши 5200 кг. Водночас у свинарстві спостерігається зменшення поголів'я свиноматок на 46,9% та зниження виходу поросят на 25,8%.

Незважаючи на скорочення частки тваринницької продукції, господарство залишається прибутковим, хоча рівень рентабельності демонструє тенденцію до зниження. Структура товарної продукції зазнала змін: частка рослинництва збільшилась до 52,8%, тоді як частка тваринництва скоротилась до 47,2%.

Фермерське господарство має позитивні тенденції у розвитку молочного тваринництва та вирощуванні технічних культур. Це створює сприятливі умови для впровадження екологічно безпечних технологій, зокрема біогазових установок, а також підвищенню енергоефективності та екологічної стійкості виробництва.

Дослідження ґрунтується на аналізі кількості гнойової біомаси з урахуванням виду, віку та умов утримання тварин. Основними джерелами інформації є наукові публікації, статистичні дані та результати практичних досліджень. Для оцінювання ефективності використання біогазових установок враховувалися хімічний склад гною, технології годівлі, методи видалення та накопичення

органічної маси [17; 18]. Розрахунки здійснено згідно з [19].

Добову кількість безпідстилкового гною (Q_{Γ}) визначали за формулою:

$$Q_{\Gamma} = (M_{EJ} + (K \cdot M_{EJ})) \cdot n_J, \quad (1)$$

де M_{EJ} — середня маса екскрементів, що виділяється однією твариною за добу, кг; n_J — кількість тварин у групі; K — коефіцієнт, залежний від системи гноєвидалення (табл. 1) [18].

Добова кількість гною з підстилкою:

$$Q_{\Gamma} = (M_{EJ} + (K \cdot M_{EJ}) + M_{ПJ}) \cdot n_J, \quad (2)$$

де $M_{ПJ}$ — добова кількість підстилки на одну голову, кг.

Річна кількість гнойової маси:

$$Q_{\Gamma \text{ річний}} = Q_{\Gamma \text{ доб}} \cdot t, \quad (3)$$

де t — кількість днів у році (звичайно $t=365$).

Річна кількість за стійлово-табірного утримання:

$$Q_{\Gamma \text{ річний}} = [(M_{EJ} + M_{ПJ} + (K \cdot M_{EJ})) \cdot t_{\Pi} + ((M_{EJ} + (K \cdot M_{EJ})) \cdot t_{\text{Л}}) \cdot n_J], \quad (4)$$

де t_{Π} — кількість днів утримання у приміщенні (245 днів); $t_{\text{Л}}$ — кількість днів утримання у літніх таборах (120 днів).

Вологість безпідстилкового гною:

$$W_{\Gamma} = W_E + Z, \quad (5)$$

де W_{Γ} — вологість гною, %; W_E — вологість екскрементів, %; Z — кількість води, що потрапляє в систему гноєвидалення.

Вологість підстилкового гною:

$$W_{\Gamma} = W_E - 0,01 \cdot R_{\Pi} \cdot (W_{\text{Н}} - W_{\Pi}) + 0,01 \cdot R_{\text{В}} \cdot (100 - W_E), \quad (6)$$

Таблиця 1. Коефіцієнт, який розраховується на основі добового виходу екскрементів тварин [18]

Система видалення	Коефіцієнт
Транспортна (конвеєрна)	0,1–0,2
Самосплавна	0,3–0,5
Лотково-змивна (суха чистка)	2,0–2,5
Лотково-змивна (волога чистка)	5,0–6,0
Гідрозмив	7,0–8,0

де W_H , W_W , W_E — вологість підстилки, води та екскрементів відповідно, %; R_H , R_W — процентне співвідношення в гнойовій масі підстилки і води, %.

Вміст сухої речовини у гної:

$$R_{a.c.p.} = Q_g \cdot (1 - W_H/100), \quad (7)$$

де $R_{a.c.p.}$ — вміст абсолютно сухої речовини, т; W_H — вологість гною, %.

Вміст органічної речовини у гної:

$$O_p = R_{a.c.p.} \cdot 0,8, \quad (8)$$

де O_p — вміст органічної речовини, т.

Добовий обсяг завантаження метантенка:

$$Q_{\text{доб}} = Q_g / g_r, \quad (9)$$

де $Q_{\text{доб}}$ — добовий обсяг завантаження, м³; g_r — питома частка гною за оптимальної вологості.

Місткість бродильної камери (метантенка):

$$V_K = Q_{\text{доб}} / (r \cdot g), \quad (10)$$

де V_K — обсяг бродильної камери, м³; $Q_{\text{доб}}$ — добовий обсяг завантаження метантенка, м³; r — добова доза завантаження (% від об'єму); g — коефіцієнт заповнення (0,8–0,95).

Річна кількість твердої фракції ($M_{\text{ш.річн.}}$):

$$M_{\text{ш.річн.}} = Q_{\text{г.річн.}} \cdot (1 - W_H / 100), \quad (11)$$

Кількість біогазу для підігріву біомаси ($Q_{\text{бр.}}$):

$$Q_{\text{бр.}} = B_{\text{гу}} / g, \quad (12)$$

де $B_{\text{гу}}$ — теплова енергія для підігріву, МДж; g — теплотворна здатність біогазу (22 МДж/м³).

Добова енергетична цінність 1 м³ біогазу — це кількість енергії, що може бути отримана зі спалювання біогазу об'ємом 1 м³ за добу. Вона розраховується аналогічно до загальної енергетичної цінності, але враховує добову продукцію біогазу в системі.

Річна енергетична цінність 1 м³ біогазу — це загальна кількість енергії, що може бути

одержана з 1 м³ біогазу впродовж року, з урахуванням постійного виробництва біогазу та стабільного його складу. Визначається за формулою:

$$Q_{\text{річ}} = Q_{\text{д}} \cdot 365, \quad (13)$$

де $Q_{\text{д}}$ — енергетична цінність 1 м³ біогазу [19].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Перспективи виробництва біометану в аграрному секторі України. Виробництво біометану відкриває для аграріїв можливість диверсифікації ризиків, пов'язаних із коливаннями цін і збуту продукції, а також забезпечує господарства органічними добривами. Для громад це створює нові робочі місця. Європейський Союз демонструє стрімкий розвиток цієї галузі, що пов'язано з прагненням до енергетичної незалежності та зменшення викидів парникових газів. Біометан — це горючий газ, отриманий із біомаси та очищений до якості природного газу. Біогазові установки генерують біогаз із приблизним складом 55% метану (CH₄) і 45% вуглекислого газу (CO₂). Після очищення до вмісту метану понад 96% біогаз перетворюється на біометан, який є відновлюваним джерелом енергії з низьким вуглецевим слідом.

Згідно з Директивою ЄС RED II, особлива увага приділяється виробництву біометану з відходів і залишків, що не конкурують із харчовими продуктами та кормами. Серед рекомендованих видів сировини виділяється гній, що забезпечує максимальне скорочення викидів парникових газів і має найвищу рентабельність. Наприклад, у країнах ЄС ціни на біометан із різних видів сировини становлять: із силосу кукурудзи — 55–60 євро/МВт·год, із соломи та покривних культур — 90–95 євро/МВт·год, із гною і посліду — 140–145 євро/МВт·год. Це свідчить про високу економічну ефективність використання гною як сировини для біометану.

В Україні перспективи виробництва біометану обмежені через скорочення поголів'я тварин. На початок 2022 р. кількість

великої рогатої худоби становила лише 2,6 млн гол., що відповідає 11% від рівня 1991 р. (24,6 млн гол.). У сільськогосподарських підприємствах цей показник був ще нижчим — близько 1 млн гол., із яких лише 424,6 тис. — корови. Крім того, площі під кукурудзою на силос знизилися від 4636,9 тис. га у 1990 р. до 214,2 тис. га у 2021 р., що становить лише 0,5% сільськогосподарських угідь. Для порівняння, у Німеччині кукурудза на силос займає 2,2 млн га, або 12% земель, із яких 20% використовується для виробництва яловичини, а решта — у молочному секторі та для біогазу.

З огляду на обмеження експорту зернових через блокування чорноморських портів, українським аграріям доцільно диверсифікувати традиційний бізнес і приділити більше уваги тваринництву.

У 2021 р. середня рентабельність тваринництва в Україні зросла до 12,7% проти 1,2% у 2020 р., а виробництво молока мало рентабельність близько 20%. Водночас рентабельність виробництва біометану з гною та посліду становить 30–65%, а в окремих випадках — до 100%. Це робить будівництво біометанових установок економічно доцільним, оскільки вони підвищують загальну рентабельність тваринницьких ферм і птахофабрик.

Комплексний підхід, що включає скотарство на базі локальних кормів (зокрема кукурудзи на силос) і виробництво біометану, дає змогу отримати більший дохід від реалізації харчових продуктів (молока і м'яса) та відновлюваного енергоносія (біометану). Це сприятиме розвитку тваринництва, зменшенню залежності від експорту зернових і підвищенню енергоефективності аграрного сектору України.

Кількість гнойової біомаси значною мірою залежить від виду тварин, умов утри-

мання та використання підстилкових матеріалів. За стійлово-табірного утримання тварин річна кількість гною є значно більшим порівняно зі стійлово-пасовищним утриманням (табл. 2).

Це зумовлено тим, що підстилки використовуються впродовж 245 діб на рік, що сприяє збільшенню загального обсягу утворюваної біомаси. Натомість у стійлово-пасовищній системі тварини перебувають на природних пасовищах у літній період, що знижує кількість гною, придатного для утилізації в біогазових установках (БГУ).

Чинники, що впливають на ефективність БГУ:

- *хімічний склад гною*: гній великої рогатої худоби (ВРХ) має нижчий вміст сухої речовини порівняно зі свинячим, однак великі обсяги компенсують цю різницю. Наприклад, за стійлово-табірного утримання великої рогатої худоби річна кількість гною становить понад 36 т/добу;
- *тип годівлі*: раціони з високим вмістом силосу, сіна та концентратів сприяють підвищенню енергетичної цінності гнойової біомаси, що позитивно впливає на кількість біогазу;
- *умови утримання*: використання підстилок підвищує загальний обсяг гною, однак знижує концентрацію органічної речовини, що потребує врахування за проєктування БГУ.

Перспективи впровадження біогазових установок. БГУ є економічно вигідними для фермерських господарств, які мають: достатні обсяги гнойової біомаси для стабільного функціонування БГУ; інтеграційну можливість у наявну інфраструктуру ферми; потребу в альтернативних джерелах енергії для опалення, освітлення чи інших потреб.

Впровадження БГУ сприяє: зниженню витрат на утилізацію органічних відходів;

Таблиця 2. Кількість гнойової маси за різних умов утримання тварин

Показники	Стойлово-табірне	Стойлово-пасовищне
Річна кількість гною, т	12287,40	9510,36
Добова кількість гною, т	33,66	26,06

Примітка: складено авторами за власними розрахунками.

отриманню біогазу як джерела теплової і електричної енергії; виробництву високоякісного органічного добрива, що підвищує родючість ґрунтів.

Вплив якісних параметрів гнойової біомаси на ефективність виробництва біогазу. Якісні параметри гнойової біомаси істотно впливають на ефективність анаеробного зброджування і обсяги отриманого біогазу. Основними характеристиками, які визначають потенціал біогазової установки, є концентрація сухої речовини, вміст органічної речовини, співвідношення вуглецю до азоту (C:N), а також рівень рН.

Концентрація сухої речовини. Дослідження показали, що для ефективного метаногенезу оптимальною є концентрація сухої речовини на рівні 8–12%. Надмірно високий вміст сухої речовини, характерний для гною великої рогатої худоби за стійлово-табірного утримання (23,54%), потребує попереднього розведення, що збільшує витрати на підготовку біомаси. Водночас низька концентрація сухої речовини (12,0% для стійлово-пасовищного утримання) може знижувати ефективність бродіння через недостатню щільність субстрату.

Вміст органічної речовини. Органічна речовина є основним джерелом метану за анаеробного зброджування. У гнойовій масі великої рогатої худоби за стійлово-табірного утримання її вміст становив 2903,66 т/рік, що перевищує показник для стійлово-пасовищного утримання (912,99 т/рік). Це зумовлює вищий потенціал отримання біогазу в першому випадку. Однак високий вміст білків і жирів може спричиняти накопичення аміаку, що пригнічує активність метаноутворювальних мікроорганізмів.

Співвідношення вуглецю до азоту (C:N). Оптимальне співвідношення для метаногенезу — це баланс між кількістю вуглецю (C) та азоту (N) у біомасі, який забезпечує ефективний процес анаеробного зброджування. Вуглець є джерелом енергії для мікроорганізмів. Його надлишок сприяє виробленню летких жирних кислот, але за дефіциту азоту процес може сповільнюватися через нестачу поживних речовин

для росту бактерій. Азот необхідний для синтезу білків і побудови клітин мікроорганізмів. Однак його надлишок призводить до утворення аміаку, який пригнічує активність метаноутворювальних мікроорганізмів.

Співвідношення C:N є ключовим параметром, який впливає на ефективність роботи БГУ. Оптимальне співвідношення 10–30:1 означає, що в біомасі на кожні 10–30 частин вуглецю має припадати 1 частина азоту. Гній ВРХ часто має C:N у межах 20:1, що ідеально підходить для анаеробного зброджування. Курячий послід має низьке співвідношення (5–10:1) через високий вміст азоту. За низького співвідношення (надлишок азоту) утворюється аміак, що підвищує рН і пригнічує метаногенез. За високого співвідношення (надлишок вуглецю) сповільнюється ріст бактерій через нестачу азоту, що знижує продуктивність утворення біогазу. Для досягнення оптимального співвідношення застосовують:

- *змішування субстратів:* гній із високим вмістом азоту (курячий послід) можна змішувати з біомасою, багатою на вуглець (солома, відходи рослинництва);
- *контроль параметрів ферментації:* регулювання співвідношення C:N у вихідній біомасі дає змогу підтримувати стабільний і ефективний процес метаногенезу.

Кількість біогазу залежно від типу біомаси. Різні види гнойової біомаси мають специфічні показники виходу біогазу (табл. 3). Найбільша кількість біогазу спостерігається за зброджування курячого посліду (0,630 м³/кг сухої органічної речовини), тоді як для гною великої рогатої худоби цей показник сягає 0,380 м³/кг.

Рекомендації для підвищення ефективності роботи БГУ:

- *оптимізація складу біомаси:* змішування гною різних видів тварин (наприклад, великої рогатої худоби із курячим послідом) для досягнення оптимального співвідношення C:N;
- *попередня підготовка біомаси:* регулювання концентрації сухої речовини шляхом розведення або підсушування;

Таблиця 3. Кількість біогазу залежно від типу гнойової біомаси

Тип біомаси	Кількість біогазу, м ³ /кг сухої органічної речовини	Вміст метану, %
Гній великої рогатої худоби	0,380	55,0
Гній свиней	0,580	77,0
Гній коней	0,250	60,0
Курячий послід	0,630	79,2

Примітка: складено авторами за власними розрахунками.

• *вибір технології гноєвидалення:* використання скребкових систем, які забезпечують стабільний хімічний склад біомаси.

Параметри системи анаеробного зброджування гнойової біомаси є ключовими для ефективного функціонування біогазових установок, оскільки вони визначають продуктивність та економічну доцільність використання гнойової біомаси як сировини. До основних параметрів належать: добова продуктивність реактора; добовий обсяг завантаження бродильної камери; місткість (об'єм) метантенка; річна кількість біогазу. Ці параметри істотно залежать від способу утримання тварин і складу біомаси.

Добова продуктивність реактора, яка відображає здатність установки обробляти вихідний гній, визначається річною кількістю гнойової маси. За стійлово-табірного утримання тварин цей показник становив 36,02 т/добу, що значно перевищує аналогічний показник для стійлово-пасовищного утримання (28,49 т/добу).

Добовий обсяг завантаження бродильної камери залежить від вмісту вологи та кількості гною. Він сягав 0,44 м³ за стійлово-табірного утримання та 0,31 м³ за стійлово-пасовищного.

Місткість бродильної камери (метантенка) визначається на основі добового обсягу завантаження. Вона становила 7,86 м³ для стійлово-табірного утримання та 5,35 м³ для стійлово-пасовищного.

Річна кількість біогазу, розрахована з урахуванням вмісту сухої та органічної речовин у біомасі, сягала: 675072,26 м³/рік для стійлово-табірного утримання; 49054,00 м³/рік для стійлово-пасовищного.

Ці результати демонструють значну перевагу стійлово-табірного утримання тварин, яке забезпечує майже в 1,5–2 рази

вищі значення основних параметрів системи анаеробного зброджування.

Вихід залишкової продукції. Після процесу анаеробного зброджування гнойової біомаси та одержання біогазу утворюється залишкова продукція, яка представлена твердою фракцією (шламом) і надосадовою рідиною (рідкою фракцією). Кількість цих фракцій залежить від вологості гною, що завантажується в систему, а також від вологості отриманих продуктів. У середньому, з 1 кг органічної речовини, біологічно розкладеної на 70%, утворюється: 0,5 кг біогазу, 0,2 кг води, 0,3 кг нерозщепленого залишку (шламу).

Розділення біомаси після зброджування на тверду та рідку фракції здійснюється за допомогою сепараторів (центрифуг) або віброгрохотів.

Тверда фракція гною містить значну кількість поживних речовин, що робить її цінним органічним добривом. Вона також може використовуватися як білково-вітамінна кормова добавка. Під час анаеробної ферментації вміст сухої органічної речовини в шламі зменшується майже на 50% порівняно з вихідним гноєм, оскільки 10–15% вуглецю субстрату включається до мікробної маси або трансформується в компоненти біогазу (метан і діоксид вуглецю).

Склад шламу залежить від хімічного складу вихідної сировини та параметрів процесу біометаногенезу. Після зброджування в шламі зберігаються біогенні елементи (азот, фосфор, калій), а поживні речовини перебувають у більш доступній для рослин формі. Це підвищує біологічну активність шламу як органічного добрива. Крім того, шлам містить білки та вітамін В₁₂, що дає змогу використовувати його як кормову добавку.

Таблиця 4. Вихід залишкової продукції після анаеробного зброджування гною

Показники	Кількість твердої фракції	Кількість рідкої фракції
Річна кількість, т	3686,22	1843,11
Відносний вихід, %	30,0	20,0
Добова кількість, т	10,1	5,05

Примітка: складено авторами за власними розрахунками.

Рідка фракція після анаеробного зброджування відповідає екологічним вимогам до стічних вод і містить значну кількість поживних речовин. У середньому, її склад включає: суху речовину: 1,0–5,0%, органічну речовину: 0,25–4,2%, фосфор: 0,05–0,7%, азот: 0,31–1,14%, рівень рН: 6,5–8,3. Рідка фракція може використовуватися як рідке органічне добриво або як субстрат для вирощування гідробіонтів, зокрема мікроводоростей (наприклад, спіруліни). Спіруліна є цінною білково-вітамінною добавкою для сільськогосподарських тварин, а також сировиною для фармацевтичної промисловості.

Наші розрахунки засвідчили, що річна кількість твердої фракції становить 3686,22 т, що сягає 30% від річного виходу гнойової маси (табл. 4). Добова кількість шламу становить 10,1 т. Річна кількість рідкої фракції дорівнює 1843,11 т (20% від річного виходу гнойової маси), а добова кількість — 5,05 т.

Отже, залишкова продукція після анаеробного зброджування гнойової біомаси є цінним ресурсом, який може використовуватися як органічне добриво або кормова добавка, що сприяє підвищенню екологічної ефективності та економічної доцільності біогазових технологій.

Ефективність біогазової установки. Товарний біогаз — частина загального обсягу

біогазу, отриманого в процесі анаеробного бродіння, яка може бути використана для виробництва теплової або електричної енергії, а також як замітник традиційних енергетичних ресурсів (природного газу, нафти, дизельного палива тощо). Значна частина виробленого біогазу використовується для підігрівання біомаси, яка зброджується, що є необхідною умовою підтримання стабільності технологічного процесу. Ефективність застосування товарного біогазу залежить від низки чинників, зокрема: кількості біогазу, витраченого на підігрівання субстрату; теплових втрат у процесі анаеробного бродіння; природно-кліматичних умов; конструктивних особливостей БГУ; технологічного режиму її роботи.

Розрахунками встановлено, що коефіцієнт ефективності БГУ, який становить 2,49 відображає енергетичну й техніко-технологічну ефективність. Це значення визначає необхідний рівень окремих параметрів, поданих у табл. 5.

Енергетичні показники біогазових установок значною мірою залежить від витрат енергії на обігрівання реактора. Анаеробний процес потребує дотримання певних температурних режимів, рівномірного прогрівання субстрату, а також уникнення зон переохолодження чи перегріву.

Для підтримання необхідної температури в реакторі важливо попередньо пі-

Таблиця 5. Обсяг товарного біогазу

Показники	Значення
Теплова енергія, необхідна для підігрівання біомаси, МДж	1011206,20
Кількість біогазу, необхідного для підігріву біомаси, м ³	45963,92
Частка біогазу, необхідного для підігріву гною, %	0,068
Максимально-теоретичний коефіцієнт виходу товарного біогазу	0,90
Коефіцієнт ефективності БГУ	2,49

Примітка: складено авторами за власними розрахунками.

дігріти субстрат до заданої температури перед його подачею в установку. Додаткове підведення теплової енергії компенсує теплові втрати, що виникають під час роботи установки. Тепло може бути підведено як безпосередньо в реактор, так і в пристрій, який забезпечує подачу субстрату.

Щоб уникнути негативного впливу перепадів температури на анаеробний процес, рекомендовано поєднувати підігрівання з інтенсивним перемішуванням субстрату. Це забезпечує рівномірний розподіл тепла й підвищує ефективність теплопередачі. Для запобігання утворенню відкладень на поверхнях теплообмінників необхідно використовувати обладнання з високою швидкістю руху субстрату або передбачати системи, які легко очищуються. Особливу увагу слід приділити конструкції теплообмінників, щоб уникнути зниження їх ефективності через наявність твердих частинок у субстраті (наприклад, залишків соломи, шерсті, пір'я).

Технологічні та економічні аспекти енергетичних показників біогазових установок. Для невеликих реакторів як пристрої перемішування застосовуються теплообмінні нагрівальні агрегати, як-от гнучкі неметалеві трубопроводи, циліндричні або плоскі теплообмінники. Ці пристрої забезпечують циркуляцію гарячої води та можуть бути легко демонтовані для очищення реактора. Нагрівачі, вбудовані в стінки реактора, доцільно застосовувати лише за умови, що вони здатні передавати

теплоту субстрату з обох боків стінки, як це реалізовано в двокамерних реакторах із внутрішньою перегородкою.

Додатковим методом підігрівання субстрату є введення гарячої води або пари безпосередньо в середовище реактора. Цей підхід може бути ефективним, оскільки вода одночасно виконує функції розбавлення та турбулізації субстрату, який містить велику кількість твердих частинок. Однак введення пари під тиском призводить до підвищення вологості біогазу, що потребує додаткових заходів для осушення газу перед його використанням. У великих установках, наприклад, на комунальних підприємствах для очищення стічних вод, цей недолік часто ігнорують через високий коефіцієнт корисної дії теплопередачі.

Енергетичні показники біогазових установок визначаються як технологічними, так і економічними показниками. До технологічних показників належать: обсяг газогенерації (річний та добовий); вихід біогазу на одиницю біомаси (1 голова, 1 кг сухої речовини, 1 кг органічної речовини); продуктивність на одиницю корисної площі реактора. На основі даних фермерського господарства визначено ключові показники, що відображають енергетичні показники біогазового виробництва (табл. 6).

Економічна оцінка енергетичних показників біогазових установок базується на здатності отримувати теплову та електричну енергію, а також замінювати традиційні енергетичні ресурси. Відомо, що 1 м³ біо-

Таблиця 6. Енергетичні показники біогазового виробництва у фермерському господарстві

Показник	На одну голову	На 1 кг сухої речовини	На 1 кг органічної речовини	На 1 м ³ корисної площі
<i>Енергетичні показники</i>				
Добова кількість біогазу, м ³	0,60	0,32	0,39	3,21
Річна кількість біогазу, м ³	2143,09	3,38	4237,74	12478,23
<i>Економічні показники</i>				
Теплотворна здатність 1 м ³ біогазу, МДж	20–22			
Добова енергетична цінність 1 м ³ біогазу, Квт/год	278,016			
Річна енергетична цінність 1 м ³ біогазу, Квт/год	1080115,6			

Примітка: складено авторами за власними розрахунками.

газу еквівалентний енергії, яка міститься у 0,65 м³ природного газу, 0,7 л нафти, 0,65 л дизельного пального, 0,64 л бензину, 0,6 л гасу, 3,5 кг дров або 1,5 кг кам'яного вугілля. Розрахунки доводять, що найбільш рентабельним для дослідженого фермерського господарства є виробництво електроенергії з біогазу. Загальний коефіцієнт корисної дії (ККД), з урахуванням утворення тепла за виробництва електроенергії, досягає 80–85%, до того ж 33% хімічної енергії біометану безпосередньо перетворюється в електроенергію.

Проект утилізації гною за допомогою біогазової установки передбачає комплексний підхід, який охоплює всі етапи від збору сировини до отримання кінцевого продукту. На основі літературних даних та проведених розрахунків визначено кілька ключових умов для ефективного функціонування установки:

- *характеристики сировини:* гній повинен мати рідку, але густу консистенцію; вміст сухої речовини у сировині не може бути меншим за 3%, оскільки за нижчих показників виробництво біогазу буде настільки незначним, що навіть витрати на будівництво установки не окупляться;
- *розташування об'єкта:* для зменшення витрат на транспортування електроенергії до мережі, біогазову установку бажано розташовувати поблизу державних ліній електропередач; важливо мінімізувати відстань між місцем нагромадження сировини (гноєсховищем) і установкою, щоб уникнути додаткових витрат на транспортування та використання спеціальної техніки; об'єкт має бути розташований на безпечній відстані від населених пунктів, щоб відповідати санітарним нормам;
- *експлуатаційні характеристики:* за максимальної потужності біогазова установка може переробляти близько 100 м³ гною щодня, забезпечуючи вихід до 3000 м³ біогазу. Це еквівалентно виробництву 4–5 тис. кВт·год електроенергії;
- *економічна ефективність:* використання дешевої електроенергії дає можливість знизити собівартість виробництва тваринницької продукції на 1,2%;

застосування біодобрив, отриманих із залишкової маси після бродіння, може зменшити собівартість вирощування культурних рослин на 20%;

- *інвестиційні та технологічні виклики:* будівництво БГУ є дорогим проектом, що вимагає значних інвестицій (приблизно 1 млн дол. США); реалізація проекту передбачає зміну технології утримання тварин та схеми утилізації гною на існуючих комплексах; для успішного запуску установки потрібні кваліфіковані фахівці з практичним досвідом підготовки сировини, які можуть адаптувати проект до специфіки конкретного господарства;
- для фермерських господарств *термін окупності* БГУ перевищує 10 років.

Отже, хоча економічна ефективність біогазових установок для невеликих господарств може бути обмеженою через високі інвестиційні витрати та тривалий термін окупності, основною метою їх впровадження є екологічний ефект. Використання таких установок сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля, раціональному застосуванню відходів та підвищенню екологічної стійкості сільськогосподарського виробництва.

Дослідження підтверджує перспективність та необхідність розвитку біогазової енергетики в Україні як напряму підвищення енергетичної безпеки, зменшення залежності від традиційних енергоресурсів та посилення еколого-економічної ефективності виробництва. Впровадження маловідходних технологій у біоенергетиці зумовить скорочення видобутку викопного палива та зниження обсягів викидів парникових газів, що відповідає глобальним екологічним трендам і цілям сталого розвитку.

Практична значущість. Реалізація заходів щодо розвитку біоенергетики у процесі післявоєнного відновлення економіки України сприятиме зменшенню залежності від викопного палива та підвищенню загального рівня еколого-економічної ефективності енергетичного сектору.

ВИСНОВКИ

Аналіз засвідчив, що умови утримання тварин, хімічний склад гною та якісні параметри біомаси істотно впливають на ефективність виробництва біогазу. Зокрема, стійлово-табірна система утримання тварин забезпечує кращі умови для отримання гнойової біомаси з високими якісними характеристиками, що робить її більш придатною для використання в біогазових установках (БГУ).

Вихід гнойової маси визначається видом тварин, способом їх утримання та використання підстилки. За умов стійлово-табірного утримання річна кількість гнойової маси на 2777 т більший, ніж за стійлово-пасовищного утримання.

Концентрація сухої речовини у гнойовій масі за стійлово-табірного утримання досягає 30%, що сприяє зростанню рентабельності використання біомаси майже втричі. Основні параметри анаеробного зброджування гнойової біомаси в БГУ за таких умов вищі в 1,5–2 рази, ніж за стійлово-пасовищного утримання.

Річна кількість твердої фракції з гнойової маси становить 3686,22 т (30% від загального річного обсягу біомаси), а рідкої фракції — 1843,11 т (20%). Найбільш рентабельним для господарства є виробництво електроенергії з біогазу, що забезпечує загальний ККД 80–85%, з яких 33% хімічної енергії біометану перетворюється безпосередньо на електроенергію.

Впровадження біогазових установок дає змогу знизити екологічне навантаження на довкілля, підвищити енергоефективність господарств та гарантувати додатковий дохід. Використання залишкової маси як біодобрива сприяє зменшенню витрат на вирощування культурних рослин, підвищуючи економічну ефективність фермерських господарств.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

Фермерським господарствам доцільно оцінювати потенціал біогазових установок, враховуючи специфіку умов утримання тварин, доступність ресурсів і відстань до місць нагромадження сировини.

Подальші дослідження слід спрямувати на адаптацію БГУ до умов малих і середніх господарств, а також на розробку ефективних фінансових механізмів для їх впровадження.

Рекомендовано розвивати технології, що сприятимуть оптимізації параметрів біомаси (співвідношення C:N, концентрація сухої речовини, вміст органічної речовини) для підвищення рентабельності біогазових установок.

Тому, впровадження біогазових технологій у фермерських господарствах має не лише економічний, а й значний екологічний ефект, зумовлюючи сталий розвиток агропромислового сектору.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bond, T., & Templeton, M. R. (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable Development*, 15(4), 347–354. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.003>.
2. Gadirli, G., Pilarska, A. A., Dach, J., Pilarski, K., Kolasa-Więcek, A., & Borowiak, K. (2024). Fundamentals, Operation and Global Prospects for the Development of Biogas Plants-A Review. *Energies*, 17(3), 568. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17030568>.
3. Igliński, B., Kiełkowska, U., Pietrzak, M., Skrzatek, B., Kumar, M., & Piechota, G. (2023). The regional energy transformation in the context of renewable energy sources potential. *Renew. Energy*, 218, 119246. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119246>.
4. Мудрак, О. В., & Морозова, Т. В. (2023). Застосування мікрокосмів для екологічно аргументованого добору біопаливних культур. *Агроекологічний журнал*, 4, 123–133. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2023.293762>.
5. Pilarski, K., Pilarska, A. A., Boniecki, P., Niedbała, G., Durczak, K., Witaszek, K., ... Kowalik, I. (2020). The Efficiency of Industrial and Laboratory Anaerobic Digesters of Organic Substrates: The Use of the Biochemical Methane Potential Correction Coefficient. *Energies*, 13(5), 1280. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13051280>.
6. Bond, T., & Templeton, M. R. (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy Sustain. Dev.*, 15, 347–354. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.003>.
7. Perea-Moreno, M.-A., Samerón-Manzano, E., & Perea-Moreno, A.-J. (2019). Biomass as Renewable Energy: Worldwide Research Trends. *Sustainability*, 11(3), 863. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11030863>.

8. Pilarski, K., Pilarska, A.A., Kolasa-Więcek, A., & Suszanowicz, D. (2023). An Agricultural Biogas Plant as a Thermodynamic System: A Study of Efficiency in the Transformation from Primary to Secondary Energy. *Energies*, 16(21), 7398. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16217398>.
9. Kozłowski, K., Dach, J., Lewicki, A., Cieślík, M., Czeakała, W., Janczak, D., & Brzoski, M. (2018). Laboratory simulation of an agricultural biogas plant start-up. *Chem. Eng. Technol.*, 41, 711–716. DOI: <https://doi.org/10.1002/ceat.201700390>.
10. Nevzorova, T., & Kutcherov, V. (2019). Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: A state-of-the-art review. *Energy Strategy Rev.*, 26, 100414. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100414>.
11. Kozłowski, K., Pietrzykowski, M., Czeakała, M., Dach, J., Kowalczyk-Juško, A., Józwiakowski, K., & Brzoski, M. (2019). Energetic and economic analysis of biogas plant with using the dairy industry waste. *Energy*, 183, 1023–1031. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.179>.
12. Dudin, V., Polehenka, M., Tkalic, O., Pavlychenko, A., Napich, H., & Roubik, H. (2024). Ecological and economic assessment of the effectiveness of implementing bioenergy technologies in the conditions of post-war recovery of Ukraine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 203–208. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-1/203>.
13. Lohosha, R., Palamarchuk, V., & Krychkovskyi, V. (2023). Economic efficiency of using digestate from biogas plants in Ukraine when growing agricultural crops as a way of achieving the goals of the European Green Deal. *Energy Policy Journal*, 26(2), 161–182. DOI: <https://doi.org/10.33223/epj/163434>.
14. Kowalczyk-Juško, A., Pochwatka, P., Zaborowicz, M., Czeakała, W., Mazurkiewicz, J., Mazur, A., ... Dach, J. (2020). Energy value estimation of silages for substrate in biogas plants using an artificial neural network. *Energy*, 202, 117729. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117729>.
15. Mazurkiewicz, J. (2022). Energy and Economic Balance between Manure Stored and Used as a Substrate for Biogas Production. *Energies*, 15(2), 413. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15020413>.
16. Wang, C., Amon, B., Schulz, K., & Mehdi, B. (2021). Factors That Influence Nitrous Oxide Emissions from Agricultural Soils as Well as Their Representation in Simulation Models: A Review. *Agronomy*, 11(4), 770. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11040770>.
17. Chubur, V., Danylov, D., Chernysh, Y., Plyatsuk, L., Shtepa, V., Haneklaus, N., & Roubik, H. (2022). Methods for intensifying biogas production from waste: A scientometric review of cavitation and electrolysis treatments. *Fermentation*, 8(10), 570. URL: <https://doi.org/10.3390/fermentation8100570>.
18. Калетнік, Г. М., Здирко, Н. Г., & Фабіянська, В. Ю. (2018). Біогаз в домогосподарствах — запорука енергонеалежності сільських територій України. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики*, 8, 7–22. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efmapnp_2018_8_3.
19. ВНТП-АПК-09.06. (2006). Системи видалення, обробки, підготовки та використання гною. Міністерство аграрної політики України. URL: <https://surl.li/orawdd>.

Стаття надійшла до редакції журналу 26.11.2024

АКТИВОВАНІ САЛІЦИЛАТОМ ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ ПОСУХОСТІЙКОСТІ РОСЛИН ПШЕНИЦІ (*TRITICUM AESTIVUM* L.)

М.С. Кобилецька¹, О.С. Дем'янюк², О.С. Корчинська³

¹Львівський національний університет імені Івана Франка (м. Львів, Україна)
e-mail: myroslava.kobyletska@lnu.edu.ua; ORCID: 0000-0002-4457-3658

²Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: demolena@ukr.net; ORCID: 0000-0002-4134-9853

³Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького
(м. Львів, Україна)
e-mail: olenakorhinska@ukr.net; ORCID: 0009-0007-4716-1142

У зв'язку із глобальними змінами клімату посуха є одним із найрозповсюдженіших стресових чинників для більшості біологічних видів. Підвищення стійкості сільсько-господарських культур до дії цього стресора дасть можливість істотно збільшити їх продуктивність. Саліцилова кислота — біологічно активна сполука фенольної природи з поліфункціональними властивостями, яка бере участь у формуванні стійкості рослин на дію чинників біотичної та абіотичної природи. Зважаючи на актуальність дослідження сполук, які мають стрес-протекторні властивості, метою роботи було вивчити вплив обробки насіння саліциловою кислотою на вміст води, проліну, вільних амінокислот і посухостійкість рослин пшениці (*Triticum aestivum* L.) сорту Подолянка в модельних умовах посухи. Встановлено, що за дефіциту вологи відбувається зменшення вмісту води в органах пшениці. Обробка насіння саліциловою кислотою підвищує вміст води у коренях на 7%, а у пагонах — на 6%, а також майже вдвічі збільшує вміст проліну в рослинних тканинах щодо контролю. Натомість за дефіциту вологи встановлено зростання вмісту вільних амінокислот в органах пшениці на 20–30% щодо контролю. За сумісного впливу саліцилату і стресового чинника вміст цих метаболітів істотно збільшувався, що свідчить про активацію захисних реакцій рослин. Визначення посухостійкості рослин за вмістом статолітного крохмалю вказує на низьку посухостійкість досліджуваного сорту пшениці Подолянка. Дія саліцилової кислоти зумовила зростання посухостійкості рослин. Отже, саліцилову кислоту можна розглядати як сполуку, яка позитивно впливає на метаболізм рослин пшениці, активуючи нагромадження таких стрес-протекторних сполук, як пролін та вільні амінокислоти. Крім того, ця сполука підвищує оводнення тканин і посухостійкість рослин. Результати досліджень дають можливість рекомендувати саліцилову кислоту як сполуку, яка підвищує стійкість рослин до нестачі вологи.

Ключові слова: дефіцит вологи, саліцилова кислота, стресові чинники, стійкість, пролін, вільні амінокислоти.

ВСТУП

Відомо, що такі екологічні чинники, як посуха, екстремальні температури, засолення, патогени, а також їхні різні комбінації негативно впливають на вищі рослини, порушують фізіологічні процеси та знижують їх продуктивність. Всебічне розуміння морфологічної, фізіологічної та молекулярної відповіді рослин на виклики, спричинені різними абіотичними й біотичними чин-

никами, стало фундаментальним питанням сучасної екології рослин, особливо в контексті змін клімату. Зважаючи на це, **метою роботи** було визначити показники стійкості рослин пшениці до посухи після обробки насіння саліциловою кислотою.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Фітогормони беруть участь у широкому спектрі ростових процесів і слугують основними регуляторами стресових реак-

цій організму рослин [1]. Будучи ключовою сигнальною молекулою, саліцилова кислота (СК) є однією зі сполук, яка відіграє важливу роль у реакції рослин на різні екологічні чинники, підтримуючи нормальний ріст і розвиток рослин, підвищуючи рівень врожайності за різних стресових умов, зокрема за дії засолення, посухи та фітопатогенів [2]. Вивчення механізмів впливу саліцилату на рослини дасть змогу краще зрозуміти її дію та розширити застосування в рослинництві, як зазначали Я. Кавулич, М. Кобилецька, Н. Романюк та О. Терек [3; 4].

Дефіцит води в рослинах негативно впливає на процеси метаболізму та гормональний баланс, спричинює зміни субклітинних структур. Ступінь порушень значною мірою визначається посухостійкістю рослин, а також тривалістю та інтенсивністю посухи. Особливу роль у забезпеченні високого водного потенціалу відіграє осмотична регуляція, яку багато дослідників відносять до механізмів толерантності. Як осморегулятори, що нагромаджуються внаслідок асиміляції, постають цукри і амінокислоти. Велике значення має вільний пролін, вміст якого істотно зростає під час посухи. Нагромадження осморегуляторів підвищує водоутримувальну здатність цитоплазми клітин [5; 6].

Змінам рослинного метаболізму за стресових умов присвячено значну кількість наукових досліджень, оскільки ці результати дають змогу не лише оцінити ступінь впливу стресових чинників на рослини, але й поглиблюють знання і перспективу можливого регулювання їх негативної дії [7–10].

Саліцилова кислота є біологічно активною молекулою фенольної природи, поширеною серед різних груп рослин і володіє поліфункціональними властивостями [11; 12]. Особливий інтерес дослідників викликає участь саліцилату в стресових реакціях рослин на вплив біотичних та абіотичних чинників [13; 14]. З'ясування особливостей впливу СК на метаболізм рослин за умов водного дефіциту дасть можливість краще усвідомити механізми реалізації її дії та

розширить перспективу практичного застосування СК як екологічно безпечної стрес-протекторної сполуки. Питання участі СК у формуванні стресостійкості рослин вивчали українські вчені Ю. Колупаєв, Т. Ястреб, М. Шкляревський та ін. [15]. Було встановлено, що ключовими захисними реакціями, які індукуються цією сполукою, є підвищення експресії генів і активності антиоксидантних ферментів, зростання вмісту низькомолекулярних антиоксидантів, а також низки поліфункціональних протекторних сполук. К. Ксін, Ю. Ву, А. Ікрам зі співавт. засвідчили, що використання СК є ефективним засобом для зменшення негативного впливу стресових чинників на ріст і розвиток сільськогосподарських рослин [16]. М. Елсісі, М. Елшієх, Н. Сабріх та ін. розглядають СК як фітогормон, що має протекторну дію на метаболізм рослин в умовах глобальної зміни клімату, що зумовлює низку абіотичних стресів, як от посуха, засолення та екстремальні температури, і, своєю чергою, є загрозою для продовольчої безпеки [17].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження здійснювали в лабораторії кафедри фізіології та екології рослин біологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка. Об'єктом дослідження були рослини пшениці (*Triticum aestivum* L.) сорту Подолянка. Попередньо насіння замочували в розчині СК (0,05 мМ) упродовж 3-х год. Спершу насіння пророщували в термостаті, а на третю добу росту пересаджували в пластикові посудини ($d = 14$ см). Рослини вирощували у субстраті ґрунту (торф верховий, торф низовий, дерновий ґрунт, пісок; рН 5,5–7,5), вологість якого підтримували на рівні 60% повної вологоємності (ПВ) (оптимальне вологозабезпечення). Модельну посуху створювали поступово, знижуючи вологість ґрунту до 30% ПВ упродовж дев'яти діб. Після завершення періоду посухи вологість ґрунту в посудинах відновлювали до 60% ПВ. Контролем слугували рослини без обробки СК, які

виросли за оптимального водозабезпечення (60% ПВ). Для досліджень відбирали пагони пшениці на сьому, дев'яту добу дії посухи і першу добу через 1 год після поновлення поливу рослин.

Визначення вмісту води у рослинному матеріалі проводили за стандартною методикою і обчислювали у відсотках [18].

Пролін екстрагували та визначали за методом Л. Бейтца [19]. Зразки масою 0,25 г спершу гомогенізували в 5 мл 3% водного розчину сульфосаліцилової кислоти. Одержаний гомогенат центрифугували за 3000 об./хв протягом 20 хв. До одержаного фільтрату (2 мл) додавали 2 мл льодової оцтової кислоти і 2 мл нінгідринного реактиву (1,25 г нінгідрину, 30 мл льодової оцтової кислоти, 20 мл 6 моль/л ортофосфатної кислоти). Одержаний розчин нагрівали на киплячій водяній бані впродовж 1 год. Реакцію зупиняли різким охолодженням і додавали до кожного зразка по 4 мл толуолу та добре перемішували впродовж 20–30 с. Відокремлювали шар толуолу і нагрівали до кімнатної температури. Оптичну густину вимірювали 520 нм на спектрофотометрі. Концентрацію проліну визначали за калібрувальним графіком, побудованим за L-проліном. Уміст проліну виражали в мкмоль/г маси сухої речовини.

Для кількісного аналізу загального вмісту вільних амінокислот наважку свіжого рослинного матеріалу (0,25 г) гомогенізували у фарфоровій ступці із 2,5 мл 10% етанолу та доводили гомогенат до об'єму 50 мл дистильованою водою. Отриману суміш фільтрували через обеззолений фільтр, відбирали аліквоту 1 мл, яку використовували для спектрофотометричного визначення вмісту вільних амінокислот. До аліквоти додавали 1 мл ацетатного буферу, 3 мл нінгідринного реактиву та 0,1 мл 3% аскорбінової кислоти. Суміш витримували 15 хв на киплячій водяній бані, після чого охолоджували та доводили розчин до об'єму 10 мл 60% етанолом. Отриманий розчин спектрофотометрували за довжини хвилі 570 нм. Загальний вміст вільних амінокислот обчислювали за калібрувальним графіком, побудованим за L-проліном [20].

Для визначення посухостійкості рослин за зміною вмісту статолітного крохмалю [21] насіння пророщували на вологому фільтрувальному папері в чашках Петрі за 25°C. Для цього 3-добові проростки підсушували в ексікаторах над розчином гліцеролу (100 мл води, 37 мл гліцеролу) упродовж 24 год за температури 16–17°C. Висушування проводили в темряві. Після цього в головних коренях лезом зрізали кінчики завдовжки 2–3 мм і зафарбовували розчином Люголя впродовж 30 с. У варіанті контролю кінчики кореня не підсушували і не обезводнювали. Після зафарбовування зрізи одразу переглядали під мікроскопом. Ступінь стійкості рослин тим вищий, чим менше крохмалю гідролізувалось у клітинах їх кореневого чохла. Рівень посухостійкості оцінювали за 5-бальною шкалою.

Усі дослідження проводили у триразовій повторності. Обробку даних здійснювали методами статистичного аналізу у програмі Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Як засвідчили результати досліджень умісту води в органах рослин (*рис. 1*), найбільше оводнення тканин спостерігається за умов контролю та за дії СК. В умовах недостатнього водозабезпечення встановлено зниження вмісту води як в пагонах, так і в коренях рослин пшениці. Хоча водночас за цих самих умов у рослин, що були попередньо оброблені розчином СК, помічали інший ефект. Оводнення коренів пшениці наближене до контролю, а в пагонах воно нижче на 7–8% порівняно з рослинами, що зростали в умовах повної вологості субстрату (див. *рис. 1*).

У процесі адаптації рослин як до короткочасної, так і до тривалої дії несприятливих умов середовища, важлива роль належить проліну, вміст якого багаторазово зростає в умовах посухи, засолення, впливу низьких та високих температур, інших стресових чинників, які ініціюють зниження водного потенціалу клітинного соку. Пролін також є важливим компонентом низькомолекулярної антиоксидантної сис-

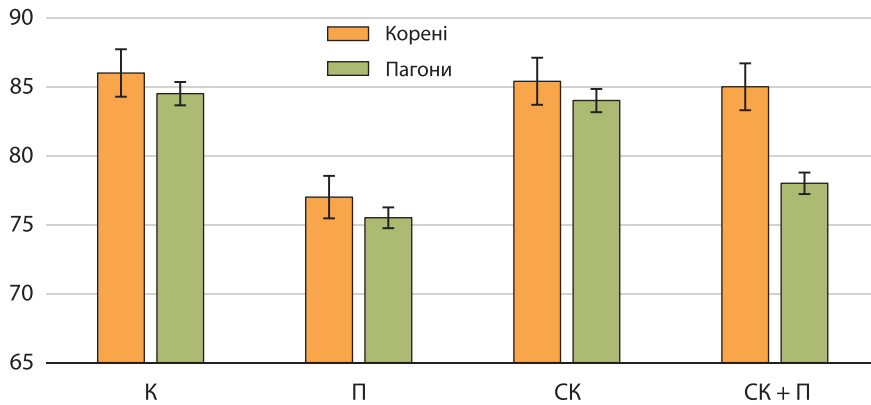


Рис. 1. Вміст води у 14-добових рослин пшениці (*Triticum aestivum* L.) сорту Подолянка за впливу СК і посухи, %

Примітки: К — контроль; П — посуха; СК — саліцилова кислота; СК + П — саліцилова кислота + посуха.

теми та регулює низку метаболічних процесів під час дії несприятливих чинників середовища [22]. Як свідчать результати досліджень, уміст проліну за умов посухи у рослинах пшениці значно зростає на всіх етапах спостереження: на 7-му, 9-ту та 12-ту доби росту (*табл. 1*).

Поновлення поливу не спричинило зменшення вмісту проліну в пагонах рослин. За дії СК уміст проліну в органах рослин збільшувався вдвічі, проте був на 20% нижчим, ніж за впливу стресового чинника. Сумісна дія СК та посухи зумовила посилення вмісту проліну в пагонах пшениці вдвічі, тобто спостерігали подібний ефект завдяки лише саліцилату.

Амінокислоти (АК) є одними з найважливіших біологічно активних сполук рослин. Вони містяться в надземних та підземних органах практично всіх покри-

тонасінних рослин, синтезуються з простих неорганічних сполук і беруть участь у синтезі білків, коферментів, флавоноїдів, алкалоїдів, стероїдних сполук, поліфенолів, складних вуглеводів і жирів, вітамінів та пігментів [23].

Результати досліджень загального вмісту вільних амінокислот відмічали, що за збільшення тривалості впливу посухи спостерігається зростання вмісту вільних амінокислот у пагонах рослин пшениці (*рис. 2*). Найвищим умістом цих метаболітів характеризувались рослини на 12-ту добу росту — 0,75 мкмоль/г маси сирової речовини. Водночас рослини з контрольного варіанта, які не зазнавали впливу стресового чинника, на всіх етапах експерименту характеризувались найнижчим умістом вільних амінокислот — від 0,31 до 0,43 мкмоль/г маси сирової речовини.

Таблиця 1. Вплив саліцилової кислоти на вміст вільного проліну в пагонах пшениці, мкмоль/г сухої речовини рослини

Варіант	Тривалість посухи			Відновлення поливу, 1-ша доба
	7-ма доба	9-та доба	12-та доба	
Контроль	0,23±0,06	0,29±0,005	0,33±0,009	0,45±0,010
Посуха	0,62±0,08	0,74±0,008	0,56±0,009	0,60±0,008
СК (0,05 мМ)	0,48±0,04	0,57±0,012	0,54±0,004	0,44±0,013
Посуха + СК (0,05 мМ)	0,50±0,02	0,65±0,017	0,68±0,011	0,61±0,004

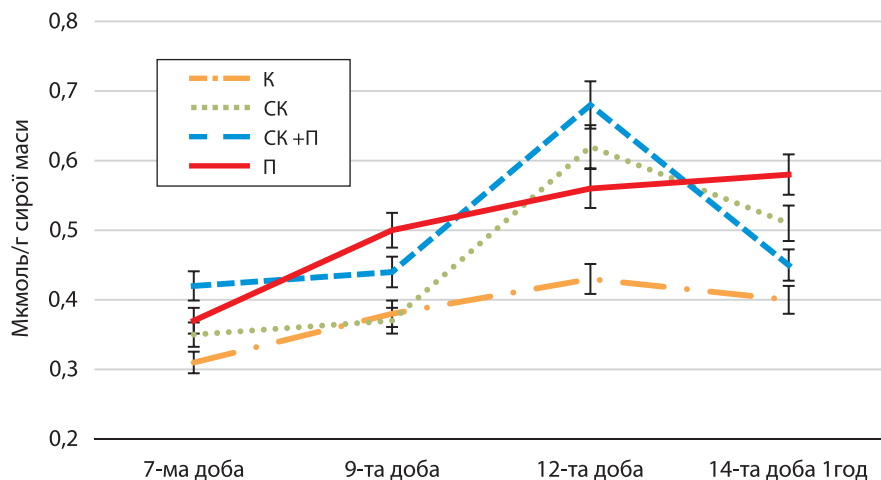


Рис. 2. Вміст вільних амінокислот у рослинах пшениці *Triticum aestivum* L., мкмоль/г маси сирої речовини

Обробка насіння пшениці СК сприяє більшому накопиченню загального вмісту вільних амінокислот як за оптимального, так і за недостатнього забезпечення вологою. Так, зокрема, на 12-ту добу вміст амінокислот у рослин, оброблених СК, підвищується на 35–40% щодо у контролю під час посухи. Слід зазначити, що у варіанті без обробки СК рослин пшениці загальний вміст амінокислот зростає, але це значення є меншим порівняно з рослинами, що були попередньо оброблені СК (50 мкМ).

За сумісного впливу СК і посухи спостерігали збільшення вмісту вільних амінокислот у рослин, проте він був нижчим, ніж за дії лише стресового чинника. Зокрема на 7-му добу впливу посухи кількість вільних амінокислот пшениці, насіння якої обробляли СК, є вищою як за умов повного вологозабезпечення, так і нестачі вологи щодо контролю.

Поновлення поливу на 14-ту добу росту рослин пшениці спричинює зниження загального вмісту амінокислот в обох варіантах як за оптимального, так і за недостатнього забезпечення вологою, тобто ці дані є наближеними до контролю.

Отже, оброблення рослин СК сприяє підвищенню накопиченню біологічно активних речовин, зокрема амінокислот, що

дає підставу вважати саліцилову кислоту стрес-протектором рослин за умов посухи.

У загальній проблемі дослідження адаптивних можливостей рослин до комбінованого впливу комплексу стрес-факторів навколишнього середовища значне місце посідають питання оцінювання посухостійкості зернових культур. Посухи спричиняють істотні втрати продукції рослинництва [24]. Тому методологічне забезпечення всебічного дослідження біологічної та агрономічної стійкості рослин до посухи є важливим завданням агрономічної науки. В селекційній практиці широко використовують непрямі лабораторні методи оцінки біологічної стійкості за фізіологічними, анатомічними, морфологічними та біохімічними показниками. До відомих методів відносять, наприклад, непрямі методи оцінки посухостійкості зернових культур за оптичною густиною екстрактів листків, ростою реакцією, ступенем відновлення мітотичної активності меристеми пагона після підсушування, величиною енергетичного заряду аденозинфосфатної системи, відносним лінійним приростом пагонів і коренів після підсушування, інтенсивністю виділення електролітів листками та ін. [25].

Таблиця 2. Посухостійкість рослин пшениці, визначена за вмістом статолітного крохмалю [8]

Варіант досліджу	До насичення гліцеролом (контроль)	Оцінка, бал	Після насичення гліцеролом	Оцінка, бал
Контроль (без СК)		4		2
З обробкою насіння СК		5		3

Примітки: 2 — рослини, в яких спостерігається низька кількість крохмалю (слабо посухостійкі); 3 — кількість крохмалю є середньою; 4 — кількість крохмалю у рослин є високою (посухостійкі); 5 — рослини, в яких встановлена найбільша кількість крохмалю, характеризуються високою посухостійкістю.

Результати дослідження посухостійкості рослин пшениці за вмістом статолітного крохмалю [21] та СК за впливу посухи наведено в *табл. 2*.

Низький рівень крохмалю у рослин пшениці за умов насичення розчином гліцеролу свідчить про слабку посухостійкість досліджуваного сорту Подолянка. Цей ефект нагромадження продуктів гідролізу крохмалю в стресових умовах посухи є ознакою слабкої або середньої посухостійкості. За тих самих умов у рослин, що

були попередньо оброблені розчином СК, спостерігали високий вміст крохмалю у клітинах. Це свідчить про підвищення посухостійкості рослин за впливу саліцилату, адже ці рослини за стресових умов зберігають високу синтетичну активність [25].

ВИСНОВКИ

Результати визначення вмісту води в пагонах і коренях *Triticum aestivum* L. пояснюють про зниження оводнення тканин рослин за умов посухи. За впливу СК в цих умо-

вах вміст води у коренях був наближений до контролю. Показано, що СК впливає на метаболізм рослин за умов дефіциту вологи. Встановлено, що за дії саліцилату зростає вміст проліну в пагонах рослин щодо контролю, максимальне значення цього показника виявлено на 12-ту добу впливу посухи. Вплив дефіциту вологи також спричинив збільшення вмісту вільних амінокислот у пагонах рослин. Обробка насіння пшениці СК сприяла значному накопиченню цих метаболітів як за оптимального, так і за недостатнього забезпечення вологою. Визначення посухостійкості рослин за вмістом

статолітного крохмалю засвідчило низьку посухостійкість досліджуваного сорту пшениці Подолянка. Водночас у рослин, вирощених із насіння, обробленого СК, встановлено підвищення цього показника. Отже, як посуха, так і СК впливають на метаболізм *Triticum aestivum* L., СК має позитивний ефект, посилюючи посухостійкість досліджуваних рослин, що було виявлено за вмістом статолітного крохмалю, бо, очевидно, ґрунтується на зростанні оводнення рослинних тканин, збільшенні вмісту вільних амінокислот і проліну, які були окреслені у процесі дослідження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Waadt, R., Seller, C. A., Hsu, P. K., Takahashi, Y., Munemasa, S., & Schroeder, J. I. (2022). Plant hormone regulation of abiotic stress responses. *Nat. Rev. Mol. Cell. Biol.*, 23(10), 680–694. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41580-022-00479-6>.
2. Song, W., Shao, H., Zheng, A., Zhao, L., & Xu, Y. (2023). Advances in roles of salicylic acid in plant tolerance responses to biotic and abiotic stresses. *Plants (Basel)*, 12(19), 3475. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12193475>.
3. Кавулич, Я., Кобилецька, М., Романюк, Н., & Терек, О. (2023). Стрес-протекторні і регуляторні властивості саліцилової кислоти і перспективи її застосування у рослинництві. *Біологічні студії*, 17(2), 173–200. DOI: <https://doi.org/10.30970/sbi.1702.718>.
4. Kobyletska, M., & Kavulych, Y. (2024). The effect of salicylic acid on the content of ascorbic acid and phenolic compounds in wheat plants. *Studia Biologica*, 18(2), 125–137. DOI: <https://doi.org/10.30970/sbi.1802.778>.
5. Castañeda, V., & González, E. M. (2021). Strategies to apply water-deficit stress: similarities and disparities at the whole plant metabolism level in *Medicago truncatula*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(6), 2813. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22062813>.
6. Živanović, B., Milić Komić, S., Tosti T., Vidović, M., Prokić, L., & Veljović Jovanović, S. (2020). Leaf soluble sugars and free amino acids as important components of abscisic acid-mediated drought response in tomato. *Plants (Basel)*, 9(9), 1147. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9091147>.
7. Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M., & Sharma, A. (2020). The impact of drought in plant metabolism: how to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences*, 10(16), 5692. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10165692>.
8. Fàbregas, N., & Fernie, A. R. (2019). The metabolic response to drought. *Journal of Experimental Botany*, 70(4), 1077–1085. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/ery437>.
9. Barroso Neto, J., Silva, J. R. I., Bezerra, C.W.F., Amorim, T. L., Hermínio, P. J., Morato, R. P., Albuquerque-Silva, M. M., & Simões, V. J. L. P. (2021). Drought and climate change impacts on plant metabolism: A review. *Research, Society and Development*, 10(8), e16710817060. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17060>.
10. Oguz, M. C., Aycan, M., Oguz, E., Poyraz, I., & Yildiz, M. (2022). Drought stress tolerance in plants: interplay of molecular, biochemical and physiological responses in important development stages. *Physiologia*, 2(4), 180–197. DOI: <https://doi.org/10.3390/physiologia2040015>.
11. Ding, Y., Fan, B., Zhu, C., & Chen, Z. (2023). Shared and related molecular targets and actions of salicylic acid in plants and humans. *Cells*, 12(2), 219. DOI: <https://doi.org/10.3390/cells12020219>.
12. Rahmani, N., & Radjabian, T. (2024). Integrative effects of phytohormones in the phenolic acids production in *Salvia verticillata* L. under multi-walled carbon nanotubes and methyl jasmonate elicitation. *BMC Plant Biol.*, 24, 56. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04719-5>.
13. Sytar, O., Zivcak, M., Konate, K., & Brestic, M. (2022). Phenolic acid patterns in different plant species of families *Asteraceae* and *Lamiaceae*: possible phylogenetic relationships and potential molecular markers. *Journal of Chemistry*, 9632979. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/9632979>.
14. Pratyusha, S. (2022). Phenolic compounds in the plant development and defense: an overview. *IntechOpen*. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.102873>.
15. Колупаєв, Ю. Є., Ястреб, Т. О., Шкляревський, М. А., Карпець, Ю. В., & Дяченко, А. І. (2021). Саліцилова кислота: синтез і стрес-протекторний ефект у рослинах. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Сер.: «Біологія»*, 2(53), 6–22. DOI: <https://doi.org/10.35550/vbio2021.02.006>.

16. Xin, K., Wu, Y., Ikram, A. U., Jing, Y., Liu, S., Zhang, Y., & Chen, J. (2025). Salicylic acid cooperates with different small molecules to control biotic and abiotic stress responses. *Journal of plant physiology*, 304, 154406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2024.154406>.
17. Elsis, M., Elshiekh, M., Sabry, N., Aziz, M., Attia, K., Islam, F., Chen, J., & Abdelrahman, M. (2024). The genetic orchestra of salicylic acid in plant resilience to climate change induced abiotic stress: critical review. *Stress Biology*, 4, 31. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44154-024-00160-2>.
18. Ievinsh, G. (2023). Water content of plant tissues: so simple that almost forgotten? *Plants*, 12(6), 1238. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12061238>.
19. Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205–207. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00018060>.
20. Xiong, Z.-T., Liu, C., & Geng, B. (2006). Phytotoxic effects of copper on nitrogen metabolism and plant growth in *Brassica pekinensis* Rupr. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 64, 273–280. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2006.02.003>.
21. Пикало, С., Демидов, О., Юрченко, Т., Хоменко, С., Гуменюк, О., Харченко, М., & Прокопів, Н. (2020). Методи оцінки посухостійкості селекційного матеріалу пшениці. *Вісник Львівського університету. Сер.: біологічна*, 82, 63–79. DOI: <https://doi.org/10.30970/vlubs.2020.82.05>.
22. Guo, S., Ma, X., Cai, W., Wang, Y., Gao, X., Fu, B., & Li, S. (2022). Exogenous proline improves salt tolerance of *Alfalfa* through modulation of antioxidant capacity, ion homeostasis, and proline metabolism. *Plants*, 11(21), 2994. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11212994>.
23. Trovato, M., Funck, D., Forlani, G., Okumoto, S., & Amir, R. (2021). Editorial: amino acids in plants: regulation and functions in development and stress defense. *Frontiers in plant science*, 12, 772810. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.772810>.
24. Demyanyuk, O., Oliinyk, K., Davydiuk, H., Yula, V., Shatkovska, K., & Mostoviyak, I. (2023). Productivity of winter wheat under cultivation technologies of different intensity. *Zemdirbyste—Agriculture*, 110(2), 3–14. DOI: <https://doi.org/10.13080/z-a.2023.110.013>.
25. Tyshchenko, A., Tyshchenko, O., Konovalova, V., Fundirat, K., & Piliarska, O. (2023). Methods of determining the drought resistance of plants. *Scientific Collection «InterConf+»*, 33(155), 343–361. DOI: <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023.030>.

Стаття надійшла до редакції журналу 12.12.2024

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ *BACILLUS THURINGIENSIS* ДЛЯ ЗАХИСТУ ЯБЛУНЬ ВІД ФІТОФАГІВ

А.А. Бунас¹, О.В. Шерстобоева¹, А.Б. Крижанівський^{1,2}

¹Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

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

e-mail: ovsher@ukr.net; ORCID: 0000-0001-8239-0847

²Інститут прикладної біотехнології БТУ-Центр (м. Київ, Україна)

e-mail: Andrew.506@ukr.net

Усі складові екосистем, зокрема отримана агропродукція перебувають у тісній взаємодії, і через низку трофічних ланцюгів як опосередкованих, так і безпосередніх впливають на стан здоров'я людини, а також якість її життя. Один з універсальних і найдоступніших дієтичних продуктів для людей є яблука. Саме в плодах яблуні можна знайти добовий вміст вітамінів С — 14%, К — 2–4, калію — 5%, а також Сu, Мn, вітамінів А, Е, В₁, В₂ та В₆. *Malus* — це джерело пектину, кверцетину, флаванолігів, антоціану, мінералів та вітамінів. Однак нині агровиробники вимушені впродовж вегетаційного періоду яблуні, щонайменше використовувати шість разів пестициди для запобігання хвороб та шкідників. Щорічні втрати від хвороб та комах-фітофагів коливаються від 30 до 70%. Відповідно пошук еколого-безпечних засобів захисту, а саме біоінсектицидів та біофунгіцидів набувають дедалі більшої поширеності в агровиробництві. Оскільки дані засоби беззаперечно мають переваги стосовно впливу на екосистему, зменшують виникнення стійких збудників хвороб і шкідників, підвищують кількісні та якісні показники врожаю. Метою дослідження є визначення впливу ентомоцидних штамів *Bacillus thuringiensis* на фізіологічні показники яблуні, урожайність і якість плодів. Встановлено, що біоконтроль комах-фітофагів у яблуневому саду забезпечив отримання врожаю у середньому контрольного варіанта на 11–58%. Найвищу врожайність одержали за оброблення рослин препаратами на основі штамів *B. thuringiensis* 0408 і 0376. Виявлено, що досліджувані біоінсектициди на основі штамів *B. thuringiensis* 0376, 0408, 787 не впливали на вміст цукрів і органічних кислот у плодах. Отримані результати свідчать, що нанесені на листки яблуні рідкі захисні біопрепарати на основі штамів *B. thuringiensis* не спричиняють стресового стану рослини, а навпаки, здійснюють помірний стимулювальний ефект на ферментативну активність листків, що вказує на стійкість рослин до інших стрес-чинників. Зауважимо, що оброблення яблуні препаратом на основі штаму *B. thuringiensis* 0408 сприяло одержанню плодів із підвищеною концентрацією вітаміну С, що зумовлено відсутністю значного стресового впливу на фізіологічний стан яблуні.

Ключові слова: екологічна безпека, садовий біоценоз, біоінсектициди, якість продукції, вітамін С, врожайність, ферментативна активність, цукровий індекс, комахі-шкідники.

ВСТУП

Яблуня є найрозповсюдженішою плодовою культурою в Україні, на 2022 р. яблуневі сади займали 84,5 тис. га, або майже 55% площ усіх плодових культур [1]. Агровиробники за рік використовують близько 3 млрд т пестицидів, щоб запобігти хворобам і шкідникам, які викликають 65 тис.

біологічних агентів [2]. Зазвичай за однорічний вегетаційний період яблуні застосовують різні пестициди, щонайменше 6 разів [3]. Оскільки щороку втрати врожаю — колосальні, а саме від 30 до 70% залежно від культури, погодних умов, агротехнічних прийомів (збору врожаю втрати становлять приблизно 40% і після збору — до 10%) [2; 4]. Ефективна боротьба зі шкідниками і хворобами має вирішальне зна-

чення через їх значний вплив на кінцеву врожайність та якість отриманих плодів.

Альтернативою хімічному контролю фітофагів є мікробіометод, який забезпечує отримання екологічно безпечної продукції садівництва. У світі ринок біопрепаратів захисної дії на 90–95% представлено спорово-кристалічними комплексами *B. thuringiensis* [5]. Біоінсектициди призначені для боротьби з імаго (доросла (статевозріла) стадія комах та деяких інших членистоногих) і личинками шкочочинних комах, кліщів і комарів. Дослідження біологічного потенціалу природних метаболітів ентомопатогенних спорочих бактерій *B. thuringiensis*, їх метагеному дає можливість створювати серії високоефективних біопрепаратів для контролю чисельності фітофагів, розробляти біотехнологію їх виробництва та застосування в агробіоценозах [6].

Препаративні форми біоінсектицидів забезпечують ефективну боротьбу з такими шкідниками, як: *Leptinotarsa decemlineata* S., *Mamestra brassicae* L., *Cydia pomonella* L., *Hyponomeuta malinellus* Z., *Hyponomeuta padellus* H., *Loxostege sticticalis* L., *Hyphantria cunea* L., *Tetranychidae* L., *Tortricidae* L., тощо. Дані біопрепарати абсолютно безпечні для бджіл [5; 7–9]. Українським споживачам на основі різних ентомопатогенних *B. thuringiensis* пропонують Лепідоцид-БТУ, Бітоксикацилін-БТУ, Бітоксик, Бацілотурінг [10].

Зважаючи на те, що в екосистемах тісно пов'язані санітарний стан ґрунту та рослин з якістю і кількістю зібраного врожаю, застосування еколого-безпечних засобів захисту стає дедалі перспективнішим. Отже, поставлено мету дослідити вплив ентомоцидних штамів *B. thuringiensis* на фізіологічні показники яблунь, урожайність і якість плодів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Біоінсектициди на основі мікроорганізмів, як бактерій, так і грибів застосовують проти різних фітофагів у агрофітоценозах, лісових та водних екосистемах країн ЄС.

У 2020 р. площі використання біологічних методів сягали 1827,2 тис. га, або 3,6% від усіх площ [1]. В умовах сьогодення вважається, що контролювальними біоагентами для шкідників можуть бути понад 100 видів бактерій, 800 видів грибів та 300 видів нематод, для контролю бур'янів 50 видів бактерій і грибів, для контролю збудників хвороб рослин — усього 20 видів бактерій та грибів.

Дослідженнями М.В. Патики, М.В. Бойко та ін. [6; 11] показано, що ентомопатогенні препарати, які отримують на основі мікроорганізмів, виділених із природних умов і внесених знову у ті самі природні умови у вигляді мікробних патогенів, не викликають небажаних змін у біоценозах і не порушують екологічний стан у регіоні. Колективом учених, М.В. Бойко, М.В. Патики, Ю.П. Бортко, Т.І. Патики [12] здійснено дослідження штамів *B. thuringiensis* 87 і 800 для захисту картоплі й інших сільськогосподарських культур від колорадського жука. Досліджувані штами *B. thuringiensis* 87 і 800 в лабораторних умовах демонструють рівень ентомоцидної дії від 96%. Вчені експериментально фіксують, що оброблення агроценозу картоплі штамом *B. thuringiensis* 87 сприяло зниженню чисельності шкідників на рівні 95–98% [6; 11; 12]. Полташовою в польових дослідженнях зазначено ефективність *B. thuringiensis* var *thuringiensis* (біоагент Бітоксикациліну-БТУ) на рівні 90–95% проти гусениць 1–2 віку капустиного та ріпакового біланів, вогнівок, капустиної молі. Проти павутинного кліща і баштаної попелиці на рівні 86,5–88% [13].

Дослідженнями М. Гунчак і співавт. [14] показано, що врожайність яблуні за використання біологічної системи захисту, яка передбачала лише застосування біопрепаратів як інсектицидної, так і фунгіцидної дій у середньому врожайність була у межах 22,60 т/га, зокрема І сорт урожаю сягав не менше ніж 58%. Також цей колектив авторів досліджував вплив сучасних біоінсектицидів на біологічні особливості зеленої яблуневої попелиці (*Aphis pomi* Deg.) та її чисельність у Південно-Західному Лісо-

стеpped України. Ефективність мікробіологічних препаратів проти фітофага коливалась у межах 65,0–89,7% залежно від варіанта досліду, терміну та кількості оброблень. Однак авторами встановлено, що найбільшу ефективність показав препарат на основі *Streptomyces avermitilis* (Актарофіт, к.е.): 89,7% через 7 діб після третього оброблення яблунь. Суміш біопрепаратів Колорадоцид, п. (біоагент *Bacillus thuringiensis*, титр $7 \cdot 10^9$ КУО/см³) та Гаубсин, р. (*Pseudomonas aureofaciens*, $5 \cdot 10^9$ КУО/см³) зафіксувала синергетичний ефект та високу дію на фітофага: 87,3 % через 7 діб після третьої обробки [15].

З огляду на вищезазначене вважаємо, що доцільно, ефективно та еколого-безпечно застосувати біопрепарати інсектицидної дії на основі ентомоцидних бактерій, мікроміцетів чи нематод проти фітофагів у системі захисту агроценозів сільськогосподарських культур і садів. Використання біоінсектицидів дає можливість контролювати чисельність фітофагів упродовж всієї вегетації рослини, проте ці засоби на 100% не замінюють хімічні засоби, які беззаперечно варто застосовувати у періоди критичного розмноження шкідників. Використання біопрепаратів дає змогу значно знизити стійкість шкідників, зменшити пестицидне навантаження на агроекосистеми, здоров'я людини через якість харчових продуктів та навколишнє природне середовище.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ентомоцидну дію ентомопатогенних токсиноутворювальних бактерій *Bacillus thuringiensis* проти брунькової листовійки (*Tmetocera ocellana* L.), плодової верхньобокової мінуючої молі (*Lithocolletis corylifoliella* L.), чохлакової плодової мінуючої молі (*Coleophora hemerobiella* L.) та яблуневої нижньобокової мінуючої молі (*Lithocolletis pyrifoliella* L.) спостерігали в польовому досліді на базі Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка НАН України (м. Київ) у 2013–2015 рр.

Досліджували рідкі біоінсектициди, де агентами були штами ентомопатогенних

токсиноутворювальних бактерій *Bacillus thuringiensis* 0371, 0376, 0408 і 787. Особливість штаму *B. thuringiensis* 787 є синтез білкового кристалічного ендотоксину, специфічного для листогризухих комах-фітофагів із рядів *Coleoptera* та *Lepidoptera*. Штами *B. thuringiensis* 0371, 0376, 0408, крім синтезу білкового кристалічного ендотоксину, продукують термостабільний водорозчинний екзотоксин. Для порівняння ентомоцидних властивостей використовували хімічний системний інсектицид Конфідор Екстра ВГ (діюча речовина імідаклоприд) контактної і кишкової дії, оброблення одноразове за вегетацію, очікування до збирання врожаю яблуні — 30 діб [10].

Облікова площа дослідної ділянки — 250 м². Повторення 3-разове. Розміщення ділянок — рядкове по 10 дерев у рядку. Оброблення дерев яблунь сорту Джонаголд здійснювали: 1-й раз відразу після цвітіння яблуні (найчутливіша фаза розвитку досліджуваних комах-фітофагів); 2-й і подальші за необхідності під час появи нових генерацій комах.

Норма витрати препарату — 20 дм³/га, розведеного в 1 м³ води. Титр спор *B. thuringiensis* у робочій рідині близько $1 \cdot 10^8$ КУО/см³. За контроль використовували дерева, що оброблені водою. Обробку яблунь проводили вечірньої пори у безвітряну погоду за допомогою обприскувача SADKO SPR-5.

Впливу культур штамів *B. thuringiensis* на фізіологічні показники яблуні визначали через активність пероксидази/поліфенолоксидази у листках яблуні, за методом Бояркина. Аналіз здійснювали через 2, 6 і 12 доби після оброблення. Отримані результати відображали зміну оптичної густини на 1 г сирої маси. Вміст зелених та жовтих пігментів вимірювали спектрофотометрично [16; 17].

Якість одержаних плодів визначали за вмістом цукрів, аскорбінової кислоти, загальної кислотності. Вміст цукрів у плодах яблуні виконували за допомогою ареометра. Загальну кислотність виявляли об'ємним методом, шляхом титрування.

Концентрацію аскорбінової кислоти (вітамін С) в яблучному соку встановлювали титриметричним методом [18].

Математико-статистичне оброблення отриманих результатів проводили за допомогою стандартних комп'ютерних програм Statistica та Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Вчені вважають, що серед найважливіших процесів формування й розвитку захисних реакцій у клітинах рослин є рівень пероксидази, як протидії стресу, оскільки цей фермент змінює свою активність пропорційно збільшенню ступеня антропогенного навантаження на рослину. Не зважаючи на те, що поліфенолоксидаза не входить до складу антиоксидантних систем, але саме вона бере участь в окисленні фенольних сполук, посилення її активності сприяє утворенню захисних бар'єрів рослини [19; 20]. Вітамін С — потужний антиоксидант, який відіграє важливу роль у регуляції окислювально-відновних процесів. Плоди зерняткових культур не багаті на вітамін С, його вміст у плодах яблук знаходиться в

межах 8–17 мг/100 г сирової маси. На вміст вітаміну С у плодах більшою мірою, ніж на інші складові впливають сорт, міра стиглості та умови вирощування.

Вплив рідких культур на основі ентомопатогенних штамів *B. thuringiensis* та хімічного інсектициду Конфідор Екстра на фізіологічні показники, а саме пероксидазну та поліфенолоксидазну активність у листках та вміст вітаміну С у плодах яблуні сорту Джонаголд представлені на *рис. 1 і 2, табл.*

Отримані результати вказують на збільшення пероксидазної активності у перші шість діб після обприскування рідкими культурами штамів *B. thuringiensis* 0371, 0376 та 0408. Штам Bt 787, що не синтезує β -екзотоксин, сприяв помірному підвищенню пероксидазної активності у період від 2 до 6 діб. Однак у період з 6 по 12 доби штам Bt 787, на відміну від інших штамів жваво стимулював пероксидазну активність. Слід відзначити низьку ферментативну активність листків рослин за оброблення Конфідор Екстра, що впродовж усього дослідження була нижчою від контролю в усіх варіантах обробки проти шкідників.

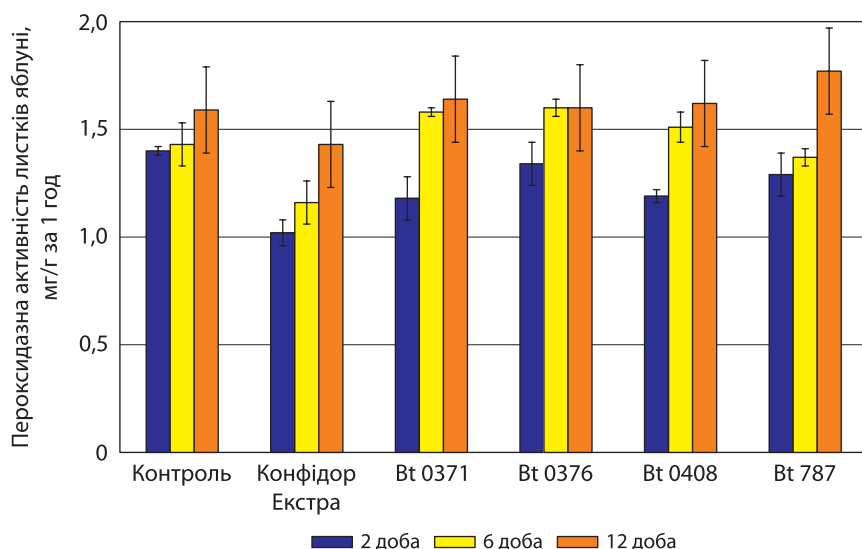


Рис. 1. Пероксидазна активність листків яблуні за оброблення досліджуваними препаратами, мг/г за 1 год

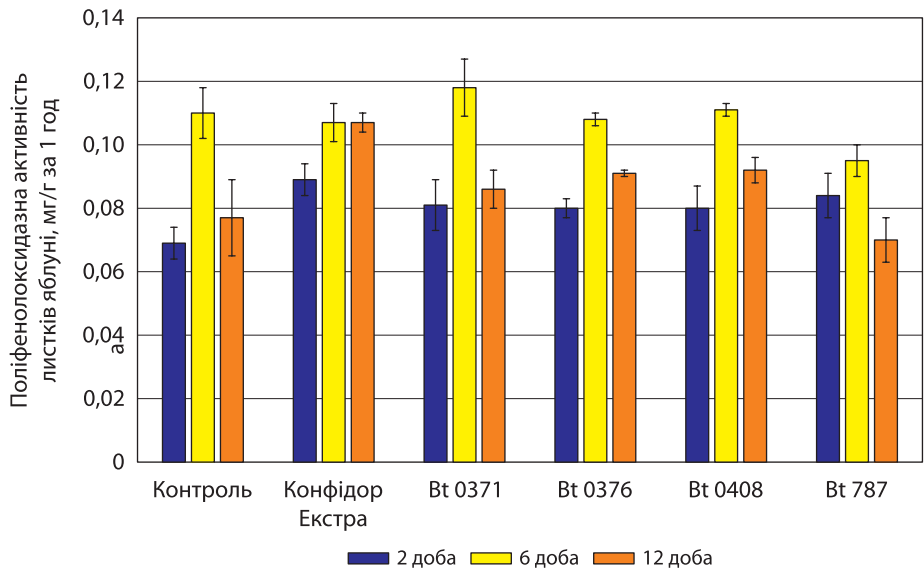


Рис. 2. Поліфенолоксидазна активність листків яблуні за оброблення досліджуваними препаратами, мг/г за 1 год

Тому можна зробити висновок, що хімічний агент інгібує активність ферментної системи.

Оброблення яблунь досліджуваними інсектицидами викликало стресовий стан у рослин, що проявилось у підвищенні ферментативної активності у листках. Тому, подальшими нашими дослідженнями було встановлення залежності вмісту аскорбінової кислоти, як потужного антиоксиданта, від величини ферментативної активності, що є показником стресового стану.

Встановлено (див. *рис. 1*), що за обробки яблунь хімічним інсектицидом Кон-

фідор Екстра концентрація аскорбінової кислоти знизилась більше ніж удвічі порівняно з контролем. Це є підтвердженням використання вітаміну С для нейтралізації стресового стану в рослині, відповідно такі яблука втрачають свою поживну цінність та здатність до зберігання. Серед досліджуваних штамів *Bacillus thuringiensis* лише один сприяв збільшенню концентрації вітаміну С — Bt 0408 (див. *табл.*). Підвищення вмісту аскорбінової кислоти на 1,6%, порівняно з контролем, зумовлено відсутністю значного стресового впливу на фізіологічний стан яблуні та забезпечило

**Врожайність та якісні показники яблуні за оброблення інсектицидами
(середнє значення за роками дослідження)**

Варіант	Врожайність, т/га	Вміст цукрів, %	Кислотність, %	Цукровий індекс	Вміст вітаміну С, мг/100 г
Контроль	11,43	13,88±0,25	0,49±0,007	28,3	13,47±1,01
Bt 0371	16,20	13,70±0,18	0,44±0,003	31,3	12,53±0,77
Bt 0376	17,30	13,71±0,23	0,46±0,006	29,8	12,40±0,32
Bt 0408	18,05	14,46±0,26	0,54±0,010	26,7	15,07±0,56
Bt 787	12,68	13,92±0,28	0,49±0,005	28,4	13,40±0,61
Конфідор Екста	17,40	12,30±0,25	0,39±0,010	31,5	6,40±0,23
НІР	0,41	—	—	—	—

стимуляцію утворення вітаміну С. Під дією штамів Bt 0371 та Bt 0376 концентрація аскорбінової кислоти в плодах знижувалась на незначну частку порівняно з контролем і була в межах 12,53 і 12,40 мг/100 г, відповідно. У *Malus*, обробленими штамом Bt 787 не відмічалось змін концентрації аскорбінової кислоти.

Відомо, що підвищення поліфенолоксидазної активності рослин, оброблених біоінсектицидами, може проявлятися як протидія рослин на інфікування патогенними мікроорганізмами [20]. На це вказують результати цього експерименту — стрімке підвищення поліфенолоксидазної активності листків яблуні спостерігали між 2 і 6 добами після оброблення дерев (див. рис. 2). У період з 6 по 12-ту добу після оброблення спостерігали помірний спад активності поліфенолоксидази у варіантах, оброблених досліджуваними штамми *B. thuringiensis*. На 12-ту добу вплив досліджуваних штамів мав тенденцію до зрівняння з контролем. Оброблення яблунь хімічним інсектицидом Конфідор Екстра не мала значного впливу на поліфенолоксидазну активність порівняно з контролем.

Однією зі значущих господарсько-біологічних особливостей яблуневих насаджень є їх урожайність, яка визначається погодно-кліматичними та агротехнічними умовами вирощування. Як бачимо з табл., оброблення яблунь досліджуваними штамми *B. thuringiensis* у період досліджень дають приріст урожаю. Незважаючи на негативну дію β-екзотоксина на фізіологічний стан *Malus* обприскування дерев штамми, які його синтезують сприяє збереженню врожаю порівняно з контролем.

Відповідно з економічної точки зору доцільніше буде використовувати біопрепарати, які містять β-екзотоксин. Оброблення дерев яблуні біопрепаратом на основі штаму Bt 787 не впливали на збереження врожаю, залишаючись на рівні контролю. Найвищий приріст урожаю спостерігали за застосування штаму Bt 0408, проте штам Bt 787, ефективність якого на всіх досліджуваних шкідниках була найнижчою сприяв найменшому збереженню врожаю.

В умовах екологізації виробництва плодоовочевої продукції важливим критерієм конкурентоспроможності є якість плодів. За таких вимог досягти високих урожаїв без застосування засобів захисту і мінеральних добрив — не можливо. Тому використовуючи біопрепарати інсектицидної дії, на основі *B. thuringiensis* у технологіях вирощування плодів культур загалом, і яблунь, зокрема потрібно знати, як вони впливають на основні показники якості яблук.

Отримані результати (див. табл.) свідчать, що сорт Джонаголд належить до солов'ячих сортів, оскільки цукристість його плодів становить 12,27–14,23%. Оброблення яблунь інсектицидами на основі *B. thuringiensis* зумовила незначне зниження вмісту цукрів порівняно з контролем. Найвищий його вміст виявлено в яблуках дерев оброблених штамом Bt 0408. За дії хімічного інсектициду Конфідор Екстра концентрація цукрів у плодах яблуні знизилась на 2% порівняно з контролем. З одержаних даних встановлено закономірність, що дія хімічного препарату негативно впливає на накопичення цукрів у плодах яблуні.

Визначено, що вміст кислот у досліджуваному сорту яблук коливався в межах 0,39–0,54%. Оброблення *Malus* штамом Bt 0371 і Bt 0376, зумовила зниження кислотності на 0,05 і 0,03% відповідно. Дія штаму Bt 0408 спричинила підвищення кислотності плодів яблуні на 0,05, а за застосування Bt 787 цей показник був на рівні контролю. Таке явище потрібно оцінювати позитивно, оскільки органічні кислоти, зокрема яблучна, мають консервуючі властивості, що впливає на зберігання, збільшуючи його термін. Тому плоди яблунь, оброблені Bt 0408 і Bt 787, будуть мати більшу лежкість. Значне зниження вмісту органічних кислот спостерігали за обробок Конфідором Екстра, яке становило 0,1%. У таких плодах процес досягання буде проходити значно швидше, ніж у яблуках обробленими біологічними препаратами, що потребуватиме додаткових затрат на зберігання.

На основі кислотності та вмісту цукрів розраховано цукрово-кислотний індекс (ЦКІ), який визначає гармонічність смаку плодів яблуні. Вважається, що ЦКІ в яблуках варіює від 6,7 до 96,8, проте у сортів яблук із високими смаковими якостями (наприклад, сорт Джонаголд), ЦКІ в межах 16–30. Розраховано, що в досліджуваних варіантах ЦКІ перебував у межах 26,7–31,5. Аналізуючи вплив досліджуваних інсектицидів на баланс цукрів та кислот в яблуках, зафіксували, що найбільше відхилення від оптимального спричинив штам Bt 0371, значення якого становило — 31,3. Значення ЦКІ, які не виходили за межі оптимального отримали за обробки дерев штамми Bt 0408, 0376 і Bt 787.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень встановлено, що оброблення яблунь біопрепаратами на основі штамів *B. thuringiensis* сприяє прояву стимулювального

ефекту на пероксидазну та поліфенолоксидазну ферментативну активність листків, збільшуючи їх концентрацію в листках, відповідно на 0,08–0,46 і 0,011–0,05 мг/г за 1 год залежно від штамів, що свідчить про зміцнення імунітету та стійкості рослин до стрес-чинників.

Біоконтроль комах-фітофагів у яблуневому саду забезпечив одержання врожаю плодів у середньому на рівні 12,68–18,05 т/га. Найвищу врожайність одержали за оброблення рослин препаратами на основі штамів *B. thuringiensis* 0408 та 0376, що сягають у середньому 18,05 і 17,29 т/га, відповідно. Врожайність яблуні за умов хімічного захисту від комах-фітофагів сягала в середньому 17,38 т/га. Плоди яблуні сорту Джонаголд мають високі смакові якості, і досліджувані біоінсектициди на основі штамів *B. thuringiensis* 0376, 0408, 787 не чинили істотного впливу на баланс цукрів і органічних кислот у них.

ЛІТЕРАТУРА

1. Басанець, О. (2024, травень 07). За 2023 рік площі насаджень плодових та ягідних культур скоротилися на 187,1 тис. га. *SuperAgronom.com*. URL: <https://superagronom.com/news/18894-za-2023>.
2. Plant Health. Biological Control Program. (2024, September 3). Retrieved from <https://www.aphis.usda.gov/plant-pests-diseases/biocontrol>.
3. Shan, C., Xue, Ch., & Zhang, L. (2024). Effects of different spray parameters of plant protection UAV on the deposition characteristics of droplets in apple trees. *Crop Protection*, 184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106835>.
4. Gunchak, M., & Skorreyko, A. (2018). Protection of apple plants from diseases in the conditions of the Western Forest-steppe. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Phytosanitary Safety*, 64, 41–48. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2018.64.41-48>.
5. Шерстобоева, О. В., Крижанівський, А. Б., & Крижко, А. В. (2021). Екологічні переваги застосування мікробіометоду в інтегрованій системі захисту рослин. *Агроекологічний журнал*, 3, 27–32. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2021.240318>.
6. Патика, М. В., & Патика, Т. І. (2020). Симбіонтні мікробні угруповання комах: функціонування та ініціація потенціалу ентомопатогенної дії на прикладі *Bacillus thuringiensis*. *Мікробіологічний журнал*, 82(1), 62–73. DOI: <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.01.062>.
7. Ugur, A., Jouzani, Gh., Sansinenea, E., & Sanchis-Borja, V. (2023). Biotechnological advances in *Bacillus thuringiensis* and its toxins: Recent updates. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 22(2), 319–348. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09652-5ff>.
8. Eads, D., Jaronski, S., & Biggins, D. (2021). Insect Pathogenic Fungi for Biocontrol of Plague Vector Fleas: A Review. *Journal of Integrated Pest Management*, 12, 1. DOI: <https://doi.org/10.1093/jipm/pmab028>.
9. Yüksel, E., Özdemir, E., & Albayrak, D. (2022). Insecticidal activities of the local entomopathogenic nematodes and cell-free supernatants from their symbiotic bacteria against the larvae of fall webworm, *Hyphantria cunea*. *Experimental Parasitology*, 242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2022.108380>.
10. Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні (2024). URL: <https://eco.gov.ua/registers/perelik-pesticidiv-i-agrohimikativ-dozvolenih-dlya-vikoristannya>.
11. Патика, Т. І., Бойко, М. В., & Патика, М. В. (2017). Біотехнологічна поліфункціональність метаболітного споро-кристалічного комплексу та особливості культивування *Bacillus thuringiensis*. *Мікробіологічний журнал*, 79(2), 78–85. DOI: <https://doi.org/10.15407/microbiolj79.02.078>.
12. Бойко, М. В., Патика, М. В., Борко, Ю. П., & Патика, Т. І. (2022). Функціональна активність *Bacillus thuringiensis* у природному середовищі фітофагів

- (на прикладі популяції *Leptinotarsa decemlineata* Say.). *Сільськогосподарська мікробіологія*, 35, 66–72. DOI: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.35.66-72>.
13. Полшатов, Г. (2021). Фітопатогени та фітофаги в системі захисту рослин в аграрному бізнесі. У Б. В. Єгоров (Ред.), *Збірник тез доповідей 81 наукової конференції* (с. 58–60). Одеса.
14. Hunchak, M., Zaitsev, Y., & Shapran, S. (2023). Efficiency of application of different apple trees protection systems against harmful organisms in the Precarpathian province of the Carpathian mountain area of Ukraine. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Phytosanitary Safety*, 68, 67–83. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.67-83>.
15. Gunchak, M. (2018). Biological preparations for apple protection from green apple aphid in South-western forest-steppe of Ukraine. *Наукові доповіді НУБіП України*, 2, 72. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/dorovidi2018.02.012>.
16. Грицаєнко, З. М., Грицаєнко, А. О., & Карпенко, В. П. (2003). *Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів* (З. М. Грицаєнко, Ред.). Київ: ЗАТ «Нічлава».
17. Гриненко, У. В., & Журавель, І. О. (2017). Визначення вмісту хлорофілів та каротиноїдів в листі шпинату городнього (*Spinacia oleracea* L.). *Зб. наук. прац. співробіт. НМАПО імені П.Л. Шупика*, 28, 29–33. URL: <https://www.nuozu.edu.ua/images/Nauka/Zbirnyk/28/5.pdf>.
18. Волкогон, В. В., Надкернична, О. В., & Токмакова, Л. М. (2010). *Експериментальна ґрунтова мікробіологія* (В. В. Волкогон, Ред.). Київ: Аграрна наука.
19. Крижанівський, А. Б. (2015). Ферментативна активність листя яблуні за впливу штамів *Bacillus thuringiensis* та Конфідору Екстра. *Агроекологічний журнал*, 3, 133–136. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2015.317921>.
20. Шерстобоева, О. В., Крижанівський, А. Б., & Бунас, А. А. (2021). Антагонізм *Bacillus thuringiensis* до фітопатогенних мікроміцетів — збудників хвороб яблуні. *Агроекологічний журнал*, 2, 71–77. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234460>.

Стаття надійшла до редакції журналу 05.12.2024

ВПЛИВ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОГО ДОБРИВА DIAMOND GROW MARKE HUMI [K] BIO + «PLUS» НА ВРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ЯРОЇ (*TRITICUM AESTIVUM* L.)

В.В. Дворецький

Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: dvchim@ukr.net; ORCID: 0000-0001-8427-7813

Глобальні зміни клімату торкаються всіх складових біосфери та вносять корективи у життя та агровиробництво. Саме через зміну погодних умов (підвищення середньомісячних температур у зимово-літні періоди, зниження рівня опадів) порушуються періоди фаз онтогенезу рослин, комах, протікання й активність мікробіологічних процесів у ґрунті, зокрема і деградації органічних залишків, накопичуються в ґрунті стійкі фітопатогенні комплекси мікроорганізмів і фітофагів. Доведено, що ефективним методом контролю фітопатогенних мікроорганізмів в агроценозах, які викликають комплекс кореневих гнилей у злакових культур є застосування біопрепаратів. Використання біопрепаратів дає можливість отримати здорові та стійкі рослини до впливу несприятливих чинників, формують мікробіоценоз у ризосфері рослин із підвищеним рівнем агрономічно-корисних мікроорганізмів. Останні більш конкурентоспроможні, адже виявляють антагоністичні властивості щодо фітопатогенів. На дослідному полі Сквирської дослідної станції Інституту агроєкології і природокористування НААН упродовж 2024 р. здійснено польові дослідження з визначення впливу органо-мінерального добрива Diamond grow марки HUMI [K] BIO+ «PLUS» на врожайність та якість пшениці ярої (*Triticum aestivum* L.). Особливістю ОМД DG H[K]B «PLUS» є його склад, де поєднуються макро- та мікроелементи, гумінові кислоти, екстракт водоростей та комплексу з 16 штамів мікроорганізмів різних таксономічних груп. Встановлено, що найефективнішим є передпосівне оброблення насіння в поєднанні з обробленням по вегетації. Виявлено, що цей тип застосування сприяє збільшенню висоти рослин на 3,2%, площі листової поверхні на 19%, вмісту хлорофілу на 11,7%, відносно контролю. Врожайність пшениці ярої фіксували на рівні 3,7–3,84 т/га, що на 0,18–0,34 т/га вище врожайності контрольного варіанта, а також спостерігали зростання вмісту вміст білка на 2,7–3,3%, а клейковини — на 3–5,6%.

Ключові слова: фотосинтетичний потенціал, площа листової поверхні, мікроорганізми, клейковина, білок.

ВСТУП

Пшениця яра (*Triticum aestivum* L.) — цінна зернова та продовольча культура. Це одна з найпоширеніших ярих культур, саме її агровиробники використовують як «страхову» для пересіву озимих. Варто зазначити, що останніми роками саме пшениця яра посідає провідне місце серед зернових, витісняючи пшеницю озиму, як за площею, так і врожайністю. Посівні площі під пшеницею ярою значно зросли за останні п'ять років — у 2024 р. становили 249 тис. га [1], 2020 — 184, 2019 — 156,3 тис. га [2]. Насамперед це пов'язано з

погодними умовами, що зумовлюють значні втрати серед озимих після перезимівлі та низькі врожаї від посушливих умов літа, хвороб та шкідників.

Глобальні зміни клімату, зокрема істотне підвищення температур у літній та зимовий сезон на 1,3°C і 0,9°C відповідно, негативно впливають на агроценози сільськогосподарських культур. Зміни погодних умов позитивно впливають на накопичення в ґрунті стійких фітопатогенних комплексів мікроорганізмів, шкідників, порушують перебіг фаз онтогенезу рослин, подовжуючи чи вкорочуючи їх, протікання мікробіологічних процесів у ґрунті,

зокрема і деструкції органічних залишків та ін.

Вважається, що одними з найефективніших превентивних методів подолання змін погодних умов і боротьби з фітопатогенними мікроорганізмами, які викликають комплекс кореневих гнилей у злакових культур є застосування біопрепаратів. Використання біопрепаратів дає змогу отримати здорові та стійкі рослини до впливу несприятливих чинників, сформувати мікробіоценоз у ризосфері рослин з агрономічно-корисних мікроорганізмів, які мають високий рівень конкуренції та антагоністичні властивості щодо фітопатогенів.

Метою нашого дослідження було визначити вплив нового, сучасного, багатокомпонентного (в складі є екстракт водоростей та живі мікроорганізми різних таксономічних груп, 16 штамів) органо-мінерального добрива Diamond grow марки HUMI [K] BIO+ «PLUS» на врожайність та якість пшениці ярої (*Triticum aestivum* L.)

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Сучасні сорти пшениці ярої (в Україні агровиробникам пропонують близько 150 сортів та гібридів), які мають високий потенціал урожайності. Дослідження зазначають до 5,0–5,5 т/га, в умовах виробництва — ця величина становить близько 3,0–3,5 т/га. Однак середня врожайність за останні роки в умовах Лісостепу та аномальними погодними умовами була лише 2,0–2,5 т/га [3].

Низка науковців і виробників, А. Баган, А. Бакай, Р. Близнюк, О. Демидов, С. Лавренко, С. Шакалій та ін. [4–7], до основних чинників утрат урожаю відносять зміна клімату, порушення сівозміни, поверхневий обробіток ґрунту, недотримання строків сівби, недостатня кількість добрив, однобоке застосування деяких прийомів захисту рослин із порушенням регламенту агропромислового виробництва зважає відчутних утрат через поширення фітопатогенних мікроорганізмів. Як відомо, саме на

початкових етапах вегетації, під час зимівлі і відновленні вегетації зернові культури максимально вражуються багатьма видами патогенних мікроорганізмів. Хвороби пшениці значно знижують урожай та якісні показники зерна, втрати валового збору щороку становлять понад 20% [4; 5; 8]. М. Соломійчук та Т. Сафронова [9] досліджували вплив препаратів гормонального походження на основі гумусових витяжок та стимуляторів антистресантів із високим вмістом амінокислот і біологічно активних речовин на розвиток кукурудзи у контрольованих умовах. Вченими виявлено, що досліджувані препарати сприяють кращій адаптації рослин за умов стресу та значно підвищують фотосинтетичну активність рослин [9]. О. Власюк експериментально встановив, що передпосівна бактеризація насіння пшениці препаратом Біокомплекс-БТУ сприяє збільшенню врожайності на 3,3–12,4% залежно від біопрепарату та фону удобрення [10]. Оброблення рослин пшениці ярої по листках препаратом Біокомплекс-БТУ позитивно впливала на підвищення врожайності на 3,6–7,2% залежно від удобрення та передпосівної бактеризації насіння.

Незалежні дослідження вчених, А. Вдовиченка, Ю. Тернового, Т. Грабовської, Г. Мельника, В. Думича та С. Ярошенка, визначали вплив біопрепаратів «Біокомплекс зернові» (ТОВ ТД «Ензим-Агро»), Фіто Хелп, Міко Хелп, Біокомплекс-БТУ (ТОВ ТД «БТУ-Центр»), Ріверм (ТОВ ТД «Аква Віта») на структурні елементи врожаю пшениці озимої [11–14]. Всі дослідники незалежно один від одного вказують, що застосування препаратів Фіто Хелп, Міко Хелп, Біокомплекс-БТУ забезпечило збільшення таких показників, як кількість продуктивних стебел, довжина стебла й колоса, кількість колосків та зерен у колосі. Встановлено, що обробка насіння та посівів біопрепаратами в органічному виробництві дає можливість підвищити масу 1000 зерен на 10,2–16,7%, а масу зерна з колоса на 9,3–14,5% порівняно з контролем. Визначено, що використання препаратів Фіто Хелп, Міко Хелп та Біокомплекс-

БТУ, «Біокомплекс зернові», Ріверм впливає на зростання врожайності зерна на 17,1–26,1% і покращує якісні показники [11–14].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Польові досліді здійснювали на дослідному полі Сквирської дослідної станції Інституту агроєкології і природокористування НААН (Київська обл., Білоцерківський р-н, м. Сквиря) впродовж 2024 р.

Ґрунт — чорнозем типовий, вміст гумусу до 4,0%, рН 6,4–6,8; вміст легкогідролізованого азоту 0,1–0,123 г/кг ґрунту (за Корнфілдом); рухомого фосфору 0,24–0,3 г/кг ґрунту; обмінного калію 0,085–0,1 г/кг ґрунту; кальцію і магнецію — 30–40 мг-екв./100 г ґрунту.

Дослідження проводили на пшениці ярій Токата, цей сорт характеризується високою врожайністю та стійкістю до хвороб (стійкість до фузаріозу колоса на рівні 7,3 бала та жовтої іржі — 8,7 бала, стійкість до септоріозу 8,1 бала). Норма висіву — 5 млн схожих насінин на гектар. Повторність у досліді чотириразова. Розміщення варіантів систематичне. Облікова площа ділянки — 40 м². Збирання та облік урожаю пшениці ярої зроблено в останній декаді липня.

Орґано-мінеральне добриво Diamond grow марки HUMI [K] BIO+ «PLUS» (далі — ОМД DG Н[K]В «Plus») — нове, сучасне орґано-мінеральне добриво, поєднує в собі комплекс макро- та мікроелементів, гумінові кислоти, екстракт водоростей, та комплекс штамів 16 мікроорґанізмів, зокрема *B. licheniformis*, *B. megaterium*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. pumilus*, *Glomus intraradices*, *G. mosseae*, *G. aggregatum*, *G. etunicatum*, *Rhizopogon villosulus*, *R. luteolus*, *R. amylopogon*, *R. fulvigleba*, *Pisolithus tinctorius*, *Scleroderma cepa*, *S. citrinum*.

Схема досліді передбачала такі варіанти:

1. Контроль — без нічого, оброблення насіння стерильною водою;
2. N₁₂P₂₄K₁₂ (фоново, за посіву у ґрунт);

3. N₁₂P₂₄K₁₂ + Біополіцид, оброблення насіння 1 л/т;
4. N₁₂P₂₄K₁₂ + ОМД DG Н[K]В «Plus», оброблення насіння 200 г/т;
5. N₁₂P₂₄K₁₂ + ОМД DG Н[K]В «Plus», оброблення по вегетації 100 г/га (фаза кущення);
6. N₁₂P₂₄K₁₂ + ОМД DG Н[K]В «Plus», оброблення насіння 200 г/т + по вегетації 100 г/га (фаза кущення).

Біометричні показники рослин визначали вимірювально-ваговим методом згідно з методиками [15]. Вимірювання морфологічних показників проводили за загальноприйнятими методами. Визначення вмісту хлорофілів та каротиноїдів здійснювали спектрофотометричним методом [16]. Площу листової поверхні характеризували за методикою А.А. Ничипоровича. Аналіз активної частини кореневої системи і визначення її активної поверхні виконували за методикою «аналізу пасм коренів» за Муромцевим. Урожайність визначали зважуванням у господарському значенні цінної частини врожаю в перерахунку на 1 га. Статистичне оброблення експериментальних даних — за допомогою програм Microsoft Excel та Statistica 6.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Беззаперечно застосування мікробіологічних препаратів чинить позитивний вплив на ростові процеси, врожайність і якість продукції сільськогосподарських культур. Передпосівне оброблення насіння біопрепаратами сприяє нівелюванню токсичного впливу протруйників, підвищує польову схожість насіння, сприяє кращому перебігу всіх фаз онтогенезу рослин, позитивно впливають на здоров'я ґрунту.

Надземна вегетативна частина рослин, а саме листовий апарат відіграє вирішальну роль у формуванні продуктивності всіх агроценозів без винятку. Це пов'язано з тим, що саме в листках рослин відбуваються процеси фотосинтезу і формування біомаси та запасної органічної речовини, яка

формує врожай. Варто зазначити, що в наукових колах дедалі більшої поширеності набувають методи, які дають змогу прогнозувати врожайність за показниками фотосинтетичної активності та морфометрією рослин.

У польовому досліді визначали вплив ОМД DG H[K]B «Plus» на морфометричні показники та вміст хлорофілу в листках рослин пшениці ярої (табл. 1). Виявлено, що висота рослин пшениці у дослідних варіантах коливалась у межах 78,7–81,2 см, а площа листкової поверхні — 24,1–28,7 тис. м²/га. Слід зауважити, що у варіантах, де застосовували біопрепарати відмічали зростання досліджуваних показників. У варіантах, де використовували біопрепарати рослини пшениці були вище порівняно з контролем на 1,7–2,5 см, а площа листкової поверхні більша на 3,7–4,6 тис. м²/га.

У процесі фотосинтезу створюється органічна речовина за рахунок енергії сонця та біохімічних реакцій у рослинах. Останні, як відомо, протікають за умов наявності зеленого пігменту — хлорофілу. Дослідження з визначення вмісту хлорофілу ($a+b$) в листках пшениці ярої свідчать, що передпосівне оброблення насіння Біополіцидом та ОМД DG H[K]B «Plus» порівняно з контролем сприяло зростанню вмісту хлорофілу ($a+b$) на 7,8 і 9,4%, відповідно. Комбінація з передпосівного оброблення та внесення ОМД DG H[K]B «Plus» по вегетації позитивно впливало на посилення

вмісту хлорофілу ($a+b$) на 11,7%. Окрім того, в цьому варіанті спостерігали і найвищий приріст рослинної біомаси. Так, висота рослин пшениці ярої збільшилась на 3,2%, площа листкової поверхні — на 19%, відносно контролю. Застосування ОМД DG H[K]B «Plus» для передпосівного оброблення насіння пшениці та комбінації оброблення насіння + вегетація порівняно з мінеральним добривом позитивно впливало на підвищення вмісту хлорофілів ($a+b$) на 6,8 і 9,1%, відповідно.

У табл. 2 представлена врожайність пшениці ярої за використання ОМД DG H[K]B «Plus» як за передпосівного оброблення насіння, вегетації, так і 2-разового оброблення вегетації і насіння. Виявлено, сприятливий вплив ОМД DG H[K]B «Plus» на якість зерна пшениці ярої та приріст урожаю порівняно з контролем та залежало від способу внесення добрива. Зафіксовано, що врожайність пшениці підвищувалася за оброблення рослин *Triticum aestivum* L. по вегетації, збільшуючи приріст урожаю на 5%, за оброблення насіння — 8%. Оброблення насіння та вегетуючих рослин дало змогу зібрати врожай вище на 9,7% відносно контролю.

Якісні показники отриманого зерна за використання ОМД DG H[K]B «Plus» були вище щодо контролю, адже вміст білка зростав на 2,7–3,3%, а вміст клейковини — на 3–5,6%. Застосування ОМД DG H[K]B «Plus» за передпосівного оброблення та вегетації сприяло збільшенню вмісту клей-

Таблиця 1. Морфометричні показники та фотосинтетичний потенціал рослин пшениці ярої сорту Токата

Варіант дослідження	Висота рослин пшениці, см	Площа листової поверхні, тис. м ² /га	Вміст хлорофілу ($a+b$), мг/г сирої маси листкової поверхні
Контроль	78,7	24,1	1,28
NPK	79,5	26,3	1,31
Біополіцид + NPK	80,4	27,8	1,38
ОМД DG H[K]B «Plus» (насіння) + NPK	80,6	28,2	1,40
ОМД DG H[K]B «Plus» (вегетація) + NPK	80,3	27,4	1,35
ОМД DG H[K]B «Plus» (н+в) + NPK	81,2	28,7	1,43
HIP	0,87	1,7	0,06

Таблиця 2. Урожайність та якість пшениці ярої
залежно від способу внесення та застосованих біопрепаратів (2024 р.)

	Урожай- ність, т/га	Маса 1000 насінин, г	Вміст білка, %	Вміст клейковини, %
Контроль	3,50	35,2±2,11	12,12±0,545	28,8±1,4
NPK	3,64	36,3±2,18	12,37±0,557	29,6±1,5
Біополіцид + NPK	3,77	37,1±2,23	12,47±0,561	29,9±1,5
ОМД DG H[K]B «Plus» (насіння)+NPK	3,81	37,2±2,23	12,48±0,562	30,0±1,5
ОМД DG H[K]B «Plus» (вегетація)+NPK	3,68	36,8±2,21	12,45±0,56	29,7±1,5
ОМД DG H[K]B «Plus» (н+в)+NPK	3,84	37,7±2,26	12,52±0,563	30,4±1,5
НІР	0,17	—	—	—

ковини на 2,7%, білка — на 1,2% порівняно з однократним внесенням мінеральних добрив. Слід зазначити, що якісні показники зерна пшениці ярої інших варіантів дослідження не значно відрізнялись порівняно з варіантом, де застосовували лише мінеральні добрива.

ВИСНОВКИ

У результаті польового дослідження у 2024 р. визначено вплив нового, сучасного, комплексного ОМД DG H[K]B «Plus» на врожайність пшениці ярої (*Triticum aestivum* L.) та якісні показники зерна.

Встановлено, що найефективнішим виявилось двократне застосування ОМД DG H[K]B «Plus» в агроценозі пшениці ярої — за передпосівного оброблення насіння в поєднанні з обробленням по вегетації. Визначено, що в цьому варіанті висота рослин зростала на 3,2 %, площа листової поверхні збільшувалась на 19%, вмісту хлорофілу на 11,7 % відносно контролю.

Зафіксовано, що застосування ОМД DG H[K]B «Plus» сприяє посиленню врожайності пшениці ярої в межах 5–9,7%, вміст білка підвищується на 2,7–3,3; клейковини — на 3–5,6%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Superagronom.ua (2024). Дніпропетровщина поступилася лідерством з виробництва ярої пшениці на Київщині. URL: <https://superagronom.com/news/18976-dnipropetrovschina-postupilasya-liderstvom-z-virobnitstva-yaroyi-pshenitsi-kiyivschini>.

2. Яра пшениця, виклики сьогодення (2020). URL: <https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNABU/6032/1/Yara%20pshenytsia.pdf>.

3. Антал, Т. В., Гарбар, Л. А., Малєончук, О. В., Корпан, А. С., & Трет'як, Д. А. (2016). Польова схожість та урожайність пшениці твердої ярої та м'якої при застосуванні мінеральних добрив в умовах Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 4, 36–39. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2016/04/8.pdf>.

4. Бакай, І. Д., & Михайленко, С. В. (2019). Ураження фузаріозною кореневою гниллю в різних зонах вирощування пшениці озимої у 1987–2015 рр. *Захист і карантин рослин*, (65), 17–34. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2019.65.17-34>.

5. Близнюк, Р. М., Демидов, О. А., Чугункова, Т. В., Федоренко, М. В., & Березовський, Д. Ю. (2019). Стійкість сортів пшениці м'якої ярої проти листових грибних хвороб. *Агроєкологічний журнал*, 1, 74–79. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2019.163258>.

6. Лавренко, С. О., & Лавренко, Н. М. (2022). Моніторинг сортів та гібридів соняшнику та пшениці озимої для вирощування в зоні Степу України. *Таврійський науковий вісник*, 124, 70–78. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.124.10>.

7. Шакалій, С. М., Баган, А. В., Юрченко, С. О., & Четверик, О. О. (2021). Вплив попередників на урожайність та якість зерна нових сортів пшениці озимої твердої. *Вісник Полтавської державної академії*, 1, 65–71. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.07>.

8. Hrytsiuk, N. (2024). Resistance of winter wheat varieties to root rots causative agents against artificial infection. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Phytosanitary Safety*, (69), 52–61. DOI: <https://doi.org/10.36495/PHSS.2023.69.52-61>.

9. Соломійчук, М. П., & Сафронова, Т. В. (2024). Характеристика фотосинтетичної активності кукурудзи за використання різних препаратів на стресовому фоні. *Міжвідомчий тематичний науковий*

- збірник «Фітосанітарна безпека», (69), 214–227. DOI: <https://doi.org/10.36495/PHSS.2023.69.214-227>.
10. Власюк, О. С. (2020). Ефективність мікробних препаратів за вирощування пшениці ярої залежно від фону удобрення. *Сільськогосподарська мікробіологія*, 31, 51–56. DOI: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.31.51-56>.
 11. Вдовиченко, А. В., Терновий, Ю. В., Рибак, В. П., Мельник, Г. Г., Качковський, О. О., Галашевський, С. О., & Чуб, А. О. (2017). Результати випробовування різних сортів пшениці озимої в органічному виробництві. *Агробіологія*, 1, 48–55. URL: <https://agrobiologiya.btsau.edu.ua/uk/content/rezultaty-vyprovovuvannya-riznyh-sortiv-pshenyci-ozymoyi-v-organichnomu-vyrobnnytvi>.
 12. Грабовська, Т. О., & Мельник, Г. Г. (2017). Вплив біопрепаратів на продуктивність пшениці озимої за органічного виробництва. *Агробіологія*, 1, 80–85. URL: <https://agrobiologiya.btsau.edu.ua/uk/content/vplyv-biopreparativ-na-produktyvnist-pshenyci-ozymoyi-za-organichnogo-vyrobnnytva>.
 13. Думич, В. В. (2018). Дослідження ефективності застосування біопрепаратів у технологіях вирощування ярих зернових культур. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*, 22(36), 231–236. URL: https://www.ndipvt.com.ua/zbirnyk_2018_30.html.
 14. Ярошенко, С. С. (2018). Вплив мінеральних добрив і біопрепаратів на формування зернової продуктивності пшениці озимої в Північному Степу України. *Зернові культури*, 2(18), 245–251. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0032>.
 15. Грицаєнко, З. М., Грицаєнко, А. О., & Карпенко, В. П. (2003). *Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів*. Київ: ЗАТ «Нічлава».
 16. Гриненко, У. В., & Журавель, І. О. (2017). Визначення вмісту хлорофілів та каротиноїдів в листі шпинату городнього (*Spinacia oleracea* L.). *Зб. наук. прац. снівробіт. НМАПО імені П.Л. Шупика*, 28, 29–33. URL: <https://www.nuozu.edu.ua/images/Nauka/Zbirnyk/28/5.pdf>.

Стаття надійшла до редакції журналу 07.12.2024

ВПЛИВ БІОЛОГІЧНО МОДИФІКОВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ НА ВРОЖАЙНІСТЬ КАРТОПЛІ (*SOLANUM TUBEROSUM*) ТА ЯКІСТЬ БУЛЬБ

Т.С. Сасіна

Інститут сільськогосподарської мікробіології
та агропромислового виробництва НААН (м. Чернігів, Україна)
e-mail: taniateri5@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4021-9202

Досліджено можливості ефективного поєднання агрономічно корисних бактерій із мінеральними добривами за вирощування картоплі (*Solanum tuberosum*) з метою підвищення врожайності культури та якості отриманої продукції. Ефективність збагачених мікроорганізмами мінеральних добрив досліджували впродовж 2023–2024 рр. у польовому дрібноділянковому досліді за вирощування картоплі сорту Беллароза. Облік урожаю картоплі проводили поділянково прямим зважуванням. Визначали загальну врожайність культури та масу товарних бульб. Аналізували декілька показників якості одержаної в польових дослідках продукції, зокрема вміст нітратів та крохмалю в бульбах картоплі. Облік урожайності картоплі свідчить про позитивну дію біологічної модифікації азотоски. За збагачення *Bacillus cereus* 3/7 відмічено зростання показників на 28,7% у 2023 р. і на 30,1% у 2024 р. Істотний приріст урожайності відмічено у варіанті з *B. atyloliquefaciens* B-22 (21,9% і 24,7%). За застосування *B. atyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 приріст урожайності фіксували від 8% до 14,9%. Однак у 2023 р. приріст маси товарних бульб за використання збагаченого добрива є помітно вищим, якщо порівняти з показниками загальної врожайності культури. Так, за використання *B. atyloliquefaciens* B-22 урожайність товарних бульб збільшилась на 29,2%, *B. cereus* 3/7 — 39,4%, *B. atyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 — 12,9%. Однак у 2024 р. приріст маси товарних бульб картоплі у варіантах зі збагаченням хоча і був істотним, але нижчим, ніж загальної врожайності. За визначення вмісту крохмалю у бульбах картоплі достовірно підвищення показників відмічено у варіанті зі збагаченням азотоски *B. atyloliquefaciens* B-22 — на 8,1% порівняно з контролем. Уміст нітратів зменшувався за використання всіх застосованих бактеріальних штамів. Найкращий результат спостерігали для варіанта з *B. atyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13. Отримані дані свідчать про ефективність біологічної модифікації мінеральних добрив за вирощування картоплі та перспективність подальших досліджень.

Ключові слова: *Bacillus atyloliquefaciens*, *Bacillus cereus*, агрономічно корисні бактерії, PGPB, біомінерали.

ВСТУП

Останніми роками дедалі більшої поширеності набуває застосування мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Впровадження біологічних препаратів на основі агрономічно корисних мікроорганізмів має низку переваг, серед яких вагоме значення мають підвищення врожайності та покращання якості рослинної продукції, оскільки саме ці критерії є вирішальними для виробників під час вибору агроприймів. Однак не менш важливим є вплив препаратів на основі PGPB на трансформацію

сполук біогенних елементів. Підсилене засвоєння інокульованими рослинами поживних речовин дає можливість зменшити норми застосування мінеральних добрив і водночас обмежити їх негативний вплив на довкілля. Підтвердженням цьому є численні дослідження, результати яких свідчать про значне зростання продуктивності сільськогосподарських культур за використання інокуляції [1–6].

Термін «ризобактерії, що стимулюють ріст рослин (PGPR)», було застосовано вперше ще наприкінці XX ст. Ним описували ізольовані ризосферні псевдомонади, які після інокуляції насіння швидко ко-

лонізували коріння рослин і збільшували врожайність [7; 8]. Згодом концепція PGPR стала розповсюджуватись на будь-які інші бактерії (PGPB) або будь-які мікроорганізми (PGPM), що виявляють ознаки стимуляції росту рослин (PGP). Серед корисних властивостей PGPB виділяють продукування сидерофорів, солюбілізацію фосфатів і калію, синтез фітогормонів і 1-аміноциклопропан-1-карбоксилат (ACC) дезамінази (яка здатна стимулювати ріст і розвиток рослин, та знижуючи рівень етилену зменшувати стрес-солонності та посухи у рослин). Важливою також є здатність до синтезу речовин, які зменшують чи запобігають шкідливому впливу фітопатогенних організмів [9–11].

У той самий час для агровиробників стримувальним чинником впровадження мікробних препаратів у практику залишається спосіб їх використання. Найчастіше це оброблення насіння, що не завжди є прийнятним, оскільки створює додаткову технологічну процедуру.

У літературі останнім часом з'явилися дані щодо можливості ефективного поєднання агрономічно цінних мікроорганізмів із мінеральними добривами [12–14]. Це поодинокі публікації, автори яких пропонують збагачення мінеральних добрив PGPB шляхом нанесення суспензій мікроорганізмів або їх ліофілізованих форм безпосередньо на гранули добрив.

Метою роботи є дослідження впливу біологічної модифікації мінеральних добрив на врожайність картоплі (*Solanum tuberosum*) та якість бульб.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У 2017 р. С. Ахмад та ін. [12] використали збагачені добрива за вирощування пшениці в умовах вегетаційних дослідів, що сприяло покращанню ростових параметрів і зростанню врожайності культури. Авторів дослідження збагачували діамоній фосфат і сечовину бактеріями роду *Bacillus*, що поліпшило врожайність зерна пшениці на 20%.

В Узбекистані співробітниками Інституту мікробіології внаслідок проведених

лабораторних досліджень виявлено позитивну дію застосування модифікованих мінеральних добрив за вирощування проростків червоного гірконого перцю. Використання мінеральних добрив, збагачених *B. subtilis* BS-26, стимулює коренеутворення, зростання та розвиток проростків. Згідно з наведеними авторами даними, довжина коренів проростків була на 2,2 см більша щодо контрольних варіантів, а середня загальна сира вага проростка червоного гірконого перцю була вищою за контроль на 0,9 г [13].

Такі науковці з Польщі, як Л. Сас-Паст, У. Смолінська, Б. Ковальська [14] досліджують використання збагачених мікроорганізмами мінеральних добрив за вирощування полуниці садової. Їх дослідження доводять, що використання таких добрив, впливає на популяції ґрунтових мікроорганізмів у ризосфері рослин суниці, а саме збільшення чисельності бактерій, а саме фосфор та актиноміцети. Європейські дослідники даного напрямку Г.Р. Мулас із співавт. [15] є авторами патенту, в якому пропонують збагачення мінеральних добрив бульбочковими бактеріями *Rhizobium leguminosarum*. Згідно з представленими ними даними, оброблення добрив композиціями бактерій покращило параметри сухої маси (до 53%) та максимального росту (до 15%) рослин ячменю у вегетаційному досліді.

В Україні за цим напрямом досліджень представлено два патенти. В одному автори пропонують фосфатмобілізуючу та ріст-стимуляторну бактерію *Paenibacillus polymyxa* KB нанести на гранули мінеральних добрив (або включити безпосередньо до маси добрив за їх гранулювання) [16], а в іншому цією самою бактерією рекомендовано збагачувати рідке мінеральне добриво (КАС) [17]. Згідно з першим патентом приріст урожаю кукурудзи від застосування біомінеральних добрив сягав 20,8%, а вміст білка в зерні кукурудзи зростав на 0,3–0,8% залежно від варіантів сполучень біологічного і мінерального чинників. За збагачення рідкого добрива приріст урожаю зерна кукурудзи становив 18,4%, збільшення

вмісту білка в зерні кукурудзи відмічено на рівні 0,4%.

У 2022 р. нами опубліковано статтю, в якій повідомляється про достовірне підвищення врожайності картоплі в трирічному експерименті за використання добрив, збагачених *Trichoderma harzianum* PD3 і *Bacillus* sp. 102. За застосування мікроміцета *T. harzianum* PD3 урожайність підвищувалась на 20% і 17,9%. За збагачення бактерією *Bacillus* sp. 102 приріст з 2020 р. по 2022 р. становив 24,5%, 20, 24,7% [18].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ефективність збагачених мікроорганізмами мінеральних добрив досліджували у 2023–2024 рр. за умов польового дрібноділянкового досліді на дерново-підзолистому окультуреному пилювато-супіщаному ґрунті (рН_{сол.} — 5,8; вміст гумусу — 1,1%; азоту, легкогідролізного — 45 мг/кг; Р₂О₅ — 170 мг/кг; К₂О — 62 мг/кг ґрунту) за вирощування картоплі сорту Белла-роза.

Повторність у досліді — шестикратна. Розміщення ділянок у досліді рендомізоване. Площа однієї ділянки в 2023 р. — 9,8 м², у 2024 р. — 17,5 м². Попередник картоплі у досліді — соя. Добриво вносили локально (у рядки), один раз за посадки бульб. Мінеральне добриво азофоску (N-16, P-16, K-16) під картоплю застосовували у нормі N₈₀P₈₀K₈₀.

Бактеріальні суспензії на добриво наносили вручну (вливали суспензію до гранул азофоски та ретельно перемішували). Розрахункова кількість бактеріальних клітин на гранулах добрив знаходилась у межах 2,5–3,0×10⁷ КУО/г. Добриво для контрольного варіанта обробляли водою (для чистоти експерименту). Отримані таким способом варіанти збагаченої азофоски підсушували протягом 24 год за кімнатної температури і вносили в ґрунт відповідно до схеми польового досліді.

Схема досліді (2023–2024 рр.):

1. Контроль (N₈₀P₈₀K₈₀);
2. N₈₀P₈₀K₈₀ + добриво, збагачене *B. amyloliquefaciens* B-22;

3. N₈₀P₈₀K₈₀ + добриво, збагачене *B. cereus* 3/7;

4. N₈₀P₈₀K₈₀ + добриво, збагачене *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13.

Використані в досліді бактеріальні штами виділені з поверхні гранул мінеральних добрив у лабораторії ґрунтової мікробіології Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН. Для виділення бактерій із поверхні добрив здійснювали висів водних розведень змивів із гранул на середовище МПА (до наважок добрив додавали стерильну воду та збовтували, далі робили розведення). Добрива отримували від різних комерційних структур, які реалізують їх у промислових масштабах. *B. amyloliquefaciens* B-22 виділено з поверхні гранул азофоски, *B. cereus* 3/7 — нітроамофоски, *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 — сечовини.

Погодні умови 2023 р. були загалом сприятливими для вегетації рослин картоплі і формування врожайності культури. Рік характеризувався достатньою забезпеченістю вологою й порівняно незначними відхиленнями температурних показників від середніх багаторічних. У 2024 р. відмічено жарку посушливу погоду у липні, що проявлялась аномально високими температурами, тривалою посухою, передчасним відмиранням вегетативної маси рослин та зупинкою динаміки наростання врожаю.

Облік урожаю картоплі (*Solanum tuberosum*) здійснювали поділянково прямим зважуванням. Визначали загальну врожайність культури та масу товарних бульб. Товарними вважали бульби масою більші за 70 г. Отримані значення перераховували в показники врожайності, т/га.

Вміст нітратів у бульбах картоплі визначали іон селективним методом, крохмалю — поляриметричним методом за Еверсом [19].

Відмінності між варіантами за визначення показників якості продукції аналізували за допомогою середнього арифметичного значення та стандартного відхилення, розрахованих за використання програми

MS Excel Analysis Tool Pak. Урожайність картоплі аналізували за дотримання алгоритму ANOVA з рівнем імовірності $P < 0,05$ за допомогою програмного забезпечення Statistica 6.0 (Stat Soft Inc., США).

**РЕЗУЛЬТАТИ
ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ**

Поверхня гранул мінеральних добрив є доволі агресивним хімічним середовищем. Штами агрономічно корисних бактерій, виділених із природних середовищ для нанесення на мінеральні добрива, можуть виявитись слабо адаптованими до виживання в цьому агресивному середовищі, або не адаптованими взагалі. Це, своєю чергою, може бути причиною швидкої загибелі на гранулах мінеральних добрив та обмежити терміни завчасної обробки добрив через різке зниження на гранулах кількості бактеріальних клітин. Тому для досліджень вирішили обрати бактерії, виділені безпосередньо з поверхні гранул мінеральних добрив. З цією метою досліджували ступінь контамінації гранул різних видів мінеральних добрив. Всього було досліджено 112 бактеріальних ізолятів, серед яких переважали чотири морфотипи. Проведення ідентифікації представників цих морфотипів дало можливість віднести бактерії до видів *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum*, *Micro-*

coccus sp. та *Bacillus cereus*. Усі ізольовані бактерії перевірили на наявність у них азотфіксувальних, фосфатмобілізуючих, целюлозолітичних та рістстимулювальних властивостей. На основі результатів аналізу властивостей досліджуваних бактерій для подальших досліджень відібрано три штами, що характеризуються комплексом потенційно важливих в агрономічному відношенні активностей: рістстимулювання, розчинення мінеральних сполук фосфору, деградації целюлози. Саме ці штами у подальшому використовували для збагачення добрив за вирощування *Solanum tuberosum*.

Облік загальної врожайності картоплі у 2023 р. за впливу біологічно модифікованого мінерального добрива свідчить про позитивну дію на рослини. Азофоска, збагачена *B. cereus* 3/7, сприяла зростанню врожайності на 28,7% (табл. 1). Також спостерігали істотний приріст урожайності у варіанті з *B. amyloliquefaciens* B-22 — на 21,9%. За застосування *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 не відмічено достовірного збільшення показника.

У 2024 р. за використання *B. cereus* 3/7 для збагачення гранул азофоски також отримали найбільший показник зростання врожайності серед усіх досліджених штамів — 30,1%. Істотний приріст спостерігали і для *B. amyloliquefaciens* B-22, а саме 24,7%.

**Таблиця 1. Урожайність картоплі
за дії біологічно модифікованої азофоски, 2023–2024 рр.**

Варіанти дослідів	Загальна врожайність, т/га (2023 р.)	Приріст до контролю		Загальна врожайність, т/га (2024 р.)	Приріст до контролю	
		т/га	%		т/га	%
Контроль ($N_{80}P_{80}K_{80}$)	22,3	—	—	20,3	—	—
$N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене <i>B. amyloliquefaciens</i> B-22	27,2	4,9	21,9	25,3	5,0	24,7
$N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене <i>B. cereus</i> 3/7	28,7	6,4	28,7	26,4	6,1	30,1
$N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене <i>B. amyloliquefaciens</i> subsp. <i>plantarum</i> 5/13	24,1	1,8	8,0	23,3	3,0	14,9
HP_{05}	2,4			1,8		

Таблиця 2. Урожайність товарних бульб картоплі за дії біологічно модифікованої азофоски, 2023–2024 рр.

Варіанти дослідю	Урожайність товарних бульб, т/га (2023 р.)	Приріст до контролю		Урожайність товарних бульб, т/га (2024 р.)	Приріст до контролю	
		т/га	%		т/га	%
Контроль (N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀)	19,3	—	—	14,7	—	—
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ + добриво, збагачене <i>B. amyloliquefaciens</i> B-22	24,9	5,6	29,2	17,3	2,6	17,9
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ + добриво, збагачене <i>B. cereus</i> 3/7	26,9	7,6	39,4	18,9	4,2	28,6
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ + добриво, збагачене <i>B. amyloliquefaciens</i> subsp. <i>plantarum</i> 5/13	21,8	2,5	12,9	16,1	1,4	9,7
НІР ₀₅	1,9			1,8		

За застосування *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 одержано найнижчі результати, проте кращі, ніж у 2023 р. — 14,9% (див. табл. 1).

Важливим показником є товарність продукції, на який також позитивно вплинуло завдяки дії біологічно модифікованої азофоски. В 2023 р. приріст маси товарних бульб за використання збагаченого добрива є помітно вищим, якщо порівняти з показниками загальної врожайності культури (табл. 2). Урожайність товарних бульб за дії *B. cereus* 3/7 збільшилася на 39,4% до рівня контрольного варіанта, а за впливу *B. amyloliquefaciens* B-22 — на 29,2%. За досліджуванним показником достовірне (хоча і найменше в досліді) зростання забезпечило також і використання добрива, з додаванням *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 — 12,9%. У 2024 р. відсоток приросту маси товарних бульб картоплі у варіантах зі збагаченням хоча і був істотним, проте нижчим, ніж загальної врожайності (див. табл. 2). До того ж відмічено збільшення загальної кількості бульб (товарних і не товарних) на одну рослину для варіантів зі збагаченням. Можливо не всі бульби, що зав'язались у рослині, досягли товарних розмірів, унаслідок погодних умов (сильна і тривала посуха).

Важливим показником отриманого врожаю є його якість. У 2023 р. досліджено

такі показники якості врожаю, як вміст крохмалю та нітратів. Крохмаль — основна складова бульб *Solanum tuberosum* та основний вуглевод, його вміст сягає 70–80% сухої речовини. У харчуванні людини він дуже цінний як джерело енергії. Саме тому вміст крохмалю є важливим нормованим показником якості сировини для виробництва картоплепродуктів [20]. За визначення вмісту крохмалю у бульбах картоплі достовірне зростання показників відмічено лише у варіанті зі збагаченням азофоски *B. amyloliquefaciens* B-22 (на 8,1%). У всіх інших варіантах спостерігали тенденцію до збільшення вмісту крохмалю в продукції (рис. 1).

Вміст нітратів у бульбах картоплі цінний показник, який необхідно контролювати за вирощування цієї культури. Хоча *Solanum tuberosum* вважається харчовим продуктом, що містить невелику кількість нітратів, проте підвищення їх вмісту в бульбах шкідливо для здоров'я. Допустимий рівень вмісту нітратів у бульбах картоплі сягає 250 мг/кг [20]. Загалом, уміст нітратів у бульбах картоплі був невисоким. У досліджуваних варіантах цей показник коливався у межах 89–30,5 мг/кг. Однак варто відмітити, що вміст нітратів зменшувався за використання всіх досліджених бактеріальних штамів (рис. 2). Найкращий результат спостерігали для варіанта

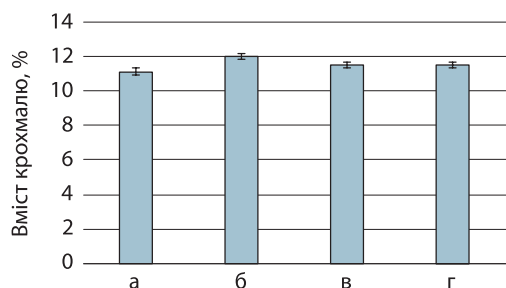


Рис. 1. Вплив біологічно модифікованих добрив на вміст крохмалю в бульбах картоплі, 2023 р.

Примітки: а — Контроль ($N_{80}P_{80}K_{80}$); б — $N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене *B. amyloliquefaciens* B-22; в — $N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене *B. cereus* 3/7; г — $N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13.

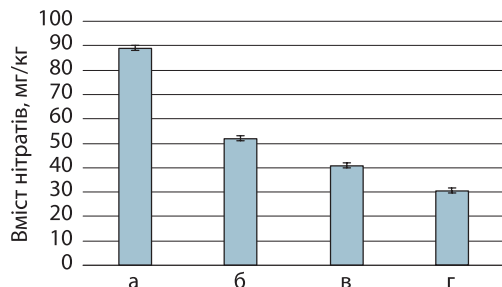


Рис. 2. Вплив біологічно модифікованих добрив на вміст нітратів у бульбах картоплі, 2023 р.

Примітки: а — Контроль ($N_{80}P_{80}K_{80}$); б — $N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене *B. amyloliquefaciens* B-22; в — $N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене *B. cereus* 3/7; г — $N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13.

з *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 — вміст нітратів знизився майже втричі порівняно з контролем.

Отримані результати потребують подальшого вивчення, зокрема механізмів впливу збагачених добрив на продукційний процес картоплі. Необхідно також визначити можливість збагачення різних видів мінеральних добрив, а також реакцію інших сільськогосподарських культур на застосування таких добрив. Цілом можливо може бути необхідність пошуку інших бактерій для збагачення добрив, оскільки універсальність одного штаму чи навіть виду мікроорганізму щодо взаємодії з рослинами різних видів сумнівна.

ВИСНОВКИ

Використання модифікованої *B. amyloliquefaciens* B-22, *B. cereus* 3/7 та *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 азотфоски сприяло зростанню врожайності картоплі та поліпшенню деяких показників якості одержаної продукції. Найбільший приріст загальної врожайності *Solanum tuberosum* за застосування бактерій спостерігали в 2024 р., показники приросту коливалися у межах 14,9–30,1% залежно від штаму. Щодо 2023 р. — приріст був дещо меншим — від 8 до 28,7%. Використання біологічно модифікованої азотфоски також позитивно

вплинуло на товарність продукції, особливо в 2023 р. У цей рік випробувань приріст маси товарних бульб за застосування збагаченого добрива є помітно вищим, якщо порівняти з показниками загальної врожайності культури. Найбільше це проявилось за збагачення добрив *B. cereus* 3/7, у цьому варіанті врожайність товарних бульб збільшилася на 39,4% до рівня контрольного варіанта.

За дослідження двох важливих показників якості продукції, зокрема вміст крохмалю та нітратів, відмічено позитивний ефект від збагачення добрив бактеріями. Достовірне зростання вмісту крохмалю у бульбах картоплі відмічено у варіанті з додаванням азотфоски *B. amyloliquefaciens* B-22 (на 8,1%). Вміст нітратів зменшувався завдяки дії всіх бактеріальних штамів, проте найкращий результат спостерігали для варіанта з *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 — вміст нітратів знизився майже втричі порівняно з контролем.

Одержані результати свідчать про перспективність подальших досліджень у цьому напрямі. Детальне вивчення механізмів впливу збагачених добрив на продукційний процес сільськогосподарських рослин та можливостей збагачення різних видів мінеральних добрив матиме важливе теоретичне й практичне значення.

ЛІТЕРАТУРА

- Martins, M. R., Jantalia, C. P., Reis, V. M., Döwich, I., Polidoro, J. C., Alves, B. J., Boddey, R. M., & Urquiaga, S. (2018). Impact of plant growth-promoting bacteria on grain yield, protein content, and urea-15 N recovery by maize in a Cerrado Oxisol. *Plant and Soil*, 422, 239–250. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3193-1>.
- Волкогон, В. В., & Москаленко, А. М. (Ред.). (2021). *Сільськогосподарська мікробіологія. Здобутки і перспективи*. Ніжин: ПП Лисенко М.М.
- Гадзало, Я. М., Патики, М. В., Заришняк, А. С., & Патики, Т. І. (2019). *Агробіологія з основами біотехнології*. Київ: Аграрна наука.
- Zeffa, D. M., Perini, L. J., Silva, M. B., de Sousa, N. V., Scapim, C. A., Oliveira, A. L. M., Amaral Júnior, A. T. D., & Azeredo Gonçalves, L. S. (2019). *Azospirillum brasilense* promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. *PloS one*, 14(4), e0215332. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215332>.
- Etesami, H., Emami, S., & Alikhani, H. A. (2017). Potassium solubilizing bacteria (KSB): Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects A review. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(4), 897–911. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000400005>.
- Singh, D. P., Singh, V., Gupta, V. K., Shukla, R., Prabha, R., Sarma, B. K., & Patel, J. S. (2020). Microbial inoculation in rice regulates antioxidative reactions and defense related genes to mitigate drought stress. *Sci. Rep.*, 10, 4818. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61140-w>.
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., ... Smith, D. L. (2018). Plant Growth-Promoting *Rhizobacteria*: Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Frontiers in plant science*, 9, 1473. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>.
- Oo, K. T., Win, T. T., Khai, A. A., & Fu, P. C. (2020). Isolation, Screening and Molecular Characterization of Multifunctional Plant Growth Promoting Rhizobacteria for a Sustainable Agriculture. *American Journal of Plant Sciences*, 11, 773–792. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.116055>.
- Wang, Q., Dodd, I. C., Belimov, A. A., & Jiang, F. (2016). Rhizosphere bacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase increase growth and photosynthesis of pea plants under salt stress by limiting Na⁺ accumulation. *Funct Plant Biol*, 43(2), 161–172. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP15200>.
- Ma, Y. (2019). Biotechnological potential of plant-microbe interactions in environmental decontamination. *Front Plant Sci*, 10, 1519. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01519>.
- Volpiano, C. G., Lisboa, V. B., & São José, J. F. B. (2022). Soil–plant–microbiota interactions to enhance plant growth. *Rev Bras Cienc Solo*, 46. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210098>.
- Ahmad, S., Imran, M., Hussain, S., Mahmood, S., Hussain, A., & Hasnain, M. (2017). Bacterial impregnation of mineral fertilizers improves yield and nutrient use efficiency of wheat. *Journal of the science of food and agriculture*, 97(11), 3685–3690. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8228>.
- Джуманиязова, Г., Нарбаева, Х., Махмудова, К., Закирьяева, С., & Бабина, А. (2018). Влияние модифицированных с помощью бактериального удобрения Fosstim-3 биоминеральных удобрений на рост и развитие проростков красного горького перца. *Web of Scholar*, 6(24), 4. DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/12062018/5731.
- Sas-Paszt, L., Smolińska, U., Kowalska, B., Szczech, M., Lisek, A., Trzciński, P., ... Sumorok, B. (2021). Influence of microbiologically enriched mineral fertilizers on selected groups of microorganisms in the rhizosphere of strawberry plants. *Journal of Horticultural Research*, 29(1), 35–46. DOI: <https://doi.org/10.2478/johr-2021-0005>.
- Mulas, G. R., González, A. F., & Brañas, L. J. (2018). A complex mineral fertilizer comprising the *Rhizobium leguminosarum* microorganism, production process and uses thereof. (EP3085679B1). Date of publication and mention of the grant of the patent: 20.06.2018 *Bulletin* 2018/2.
- Скрипка, О. М., Токмакова, Л. М., & Волкогон, В. В. (2016). Спосіб виготовлення біомінеральних добрив з властивостями активізації процесу засвоєння рослинами сполук біогенних елементів з добрив. Патент України № 110252. Державна служба інтелектуальної власності України. URL: <https://ua.patents.su/15-110252-sposib-vigotovlennya-biomineralnikh-dobriv-z-vlastivostyami-aktivizacii-procesu-zasvoennya-roslinami-spoluk-biogennikh-elementiv-z-dobriv.html>.
- Скрипка, О. М., Токмакова, Л. М., & Волкогон, В. В. (2016). Комбіноване рідке біомінеральне добриво. Патент України № 110246. Державна служба інтелектуальної власності України. URL: <https://ua.patents.su/8-110246-kombinovane-ridke-biomineralne-dobriv.html>.
- Волкогон, В. В., Дімова, С. Б., Сасіна, Т. С., Волкогон, К. І., Шевченко, Л. А., Штанько, Н. П., & Земська, І. А. (2022). Ефективність збагачених мікроорганізмами добрив за вирощування картоплі. *Сільськогосподарська мікробіологія*, 36, 3–12. DOI: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.36.3-12>.
- Ermakov, A. I. (1972). *Biochemical Research Methods of Plants*. Leningrad: Kolos Publishing House.
- Каленська, С. М., Кнап, Н. В., & Федосій, І. О. (2017). *Картопля: біологія та технологія вирощування: моногр.* Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД».

Стаття надійшла до редакції журналу 17.12.2024

ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНГІЦИДНОГО КОНТРОЛЮ ФІТОПАТОГЕННИХ МІКРОМІЦЕТІВ НА НАСІННІ СОНЯШНИКА (*HELIANTHUS ANNUUS* L.)

Г.Д. Матусевич, С.О. Мазур, Т.М. Горган, І.В. Безноско

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

e-mail: matusevichgalina1971@gmail.com; ORCID: 0009-0008-6513-5287

e-mail: mazurlanalana@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5025-0134

e-mail: beznoskoirina@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2217-5165

e-mail: tanja.micaela@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8980-7895

Важливість підвищення врожайності та якості насіння агрокультур в умовах інтенсифікації виробництва зумовлює необхідність пошуку інноваційних методів фітосанітарного контролю їх посівів із залученням екологічно обумовленого застосування сучасних агрохімікатів та біологічних препаратів. *Helianthus annuus* L., як одна з провідних олійних культур у світі, має стратегічне значення в аграрному секторі України та утримує позицію лідера серед світових експортерів соняшникової олії, забезпечуючи 32% глобального ринку у 2023/24 маркетинговому році (за даними USDA). У ході дослідження оцінено комплексний вплив комбінації препаратів: контактного фунгіциду на основі оксиду купруму (Nordox 75 WG), мікродобрива з фунгіцидним ефектом Верно FG Zn₃₀+Cu₃₀ та біологічного рістрегулятора Міра РК на фітосанітарний стан посівів соняшника, якісні показники насіння та рівень урожайності. Використання цих засобів призвело до значного зниження рівня ураження домінуючими фітопатогенами: *Alternaria helianthi* — на 90% (від 75% до 7%), *Alternaria alternata* — на 81% (від 80% до 15%), *Phomopsis helianthi* — на 60% (від 50% до 20%). Однак зниження частоти трапляння мікроміцетів *P. helianthi* та *S. sclerotiorum* до 20% ($p < 0,001$) свідчить про ефективність препаратів, які пригнічують поширення мікроміцета в агроценозах соняшника, але їхня дія недостатня для повного контролю інфекційних структур у посівах. Встановлено, що обробка препаратами позитивно вплинула на якість насіння: масова частка вологи знизилася до 7,6–8,0% порівняно з контролем (9,2%), масова частка олії зросла до 52,0–52,6% (контроль — 48,6%), кислотне число зменшилося до 3,5–4,1 мг КОН/г (контроль — 5,2 мг КОН/г), натура зерна підвищилася до 434–445 г/л (контроль — 392 г/л). Урожайність у варіанті II досягла 3,98 т/га, що на 17,4% перевищує контрольний показник (3,39 т/га). Отже, комплексне застосування вищезгаданих препаратів демонструє високу ефективність у контролі фітопатогенів та сприяє поліпшенню якості насіння і врожайності соняшника. Втім для забезпечення сталого їх використання необхідно розробити стратегії, спрямовані на мінімізацію ризиків дисбалансу мікробіому та підвищення екологічної безпеки агротехнологій.

Ключові слова: олійні культури, рістрегулятори, мікроелементи, інфекційне навантаження, частота трапляння, частота ураження, врожайність, масова частка олії, якість насіння.

ВСТУП

Одна з провідних олійних культур у світі — соняшник однорічний (*Helianthus annuus* L.) — займає ключове місце в аграрному секторі, передусім як сировина для виробництва харчової олії. Наша країна є одним із найважливіших глобальних виробників і експортерів як олійного, так і

не олійного соняшника. За даними USDA та FAO [1], у сезоні 2021/22 частка України у світовому експорті соняшникової олії перевищила 34% від загального обсягу виробництва. Незважаючи на складні геополітичні та економічні виклики останніх років, Україна зберегла лідерські позиції на світовому ринку експорту соняшникової олії у 2023/24 маркетинговому році з показником у 32%, що підтверджується

© Г.Д. Матусевич, С.О. Мазур, Т.М. Горган,
І.В. Безноско, 2025

прогнозами аналітиків USDA, оцінками ІА «АПК-Інформ» і даними Міністерства аграрної політики та продовольства України [2; 3].

Соняшник є найприбутковішою сільськогосподарською культурою в Україні за рівнем рентабельності, випереджаючи інші культури. Це зумовлено його ключовою роллю у виробництві рослинної олії, частка якої перевищує 60% у загальному обсязі олійної продукції країни [4; 5].

Інтенсивні технології вирощування соняшника ґрунтуються на масштабному застосуванні хімічних засобів захисту рослин від шкідників, хвороб і бур'янів, а також мінеральних добрив та інших агрохімікатів [6]. Тривале використання цих складників спричинило низку негативних наслідків, зокрема зниження врожайності, втрату харчової цінності та погіршення якості сільськогосподарської продукції. Водночас відбулося радикальне виснаження ґрунтової родючості та пригнічення мікробіологічної активності ґрунтів, що спричинило зменшення біорізноманіття ґрунтової біоти, формування резистентності шкідників і фітопатогенів, а також появу толерантних або навіть імунних рас шкідливих організмів [7–9].

У контексті вищезазначеного зростає актуальність практики оптимізації агротехнологій шляхом скорочення норм застосування мінеральних добрив та засобів захисту рослин як у світі, так і в Україні. Важливим напрямом цієї тенденції є часткова заміна пестицидів і мінеральних добрив препаратами біологічного походження, що сприяє збереженню ґрунтового біорізноманіття та підвищенню екологічної безпеки агровиробництва.

Метою наших досліджень було встановлення впливу позакоренових підживлень комплексом препаратів біологічного та мінерального походження (Міра РК, Nordox 75 WG, Верно FG) на чисельність і видовий спектр фітопатогенних мікроміцетів у мікобіомі насіння соняшника, врожайність культури та якісні показники насіння (вологість, кислотне число, масову частку олії, натуру зерна).

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Стрімкі кліматичні зміни мають істотний вплив на аграрний сектор як України, так і світу загалом. Вони водночас відкривають нові перспективи для розвитку рослинництва та зумовлюють необхідність удосконалення технологічних підходів до вирощування сільськогосподарських культур. В умовах глобального потепління актуалізується адаптивне планування сівозмін, коригування строків сівби, впровадження інноваційних методів зрошення, оптимізації систем удобрення та захисту рослин. Важливим аспектом цих заходів є обов'язкове екологічне обґрунтування та введення стратегій, спрямованих на збереження навколишнього природного середовища [10].

Сучасні наукові дослідження підтверджують, що глобальні кліматичні зміни сприяють значним трансформаціям у фітосанітарному стані агроценозів, зокрема в системах вирощування сільськогосподарських культур. Зростання середньорічних температур, зміни режимів опадів і зниження вологості ґрунту створюють сприятливі умови для поширення шкідливих організмів та фітопатогенів на територіях, де раніше вони не реєструвалися або були обмежені у своєму ареалі [11].

Результати досліджень низки науковців (О. Шовкова, Т. Тимошук, Г. Котельницька, С. Курцова, Н. Рибак) [12; 13] засвідчують, що потепління клімату спричиняє інтенсифікацію розмноження комах-шкідників, як-от *Helicoverpa armigera*, *Thrips tabaci*, *Tanymecus dilaticollis*, а також збільшення чисельності популяцій фітопатогенних мікроміцетів (*Alternaria* spp., *Fusarium* spp., *Botrytis cinerea*).

Насіння, інфіковане фітопатогенними мікроміцетами, втрачає схожість, що знижує густоту посівів і, як наслідок, урожайність. За даними фітопатологічних лабораторій, рівень зараження насіння патогенами може досягати 100%. До того ж склад фітопатогенних грибів змінюється під впливом різних чинників, зокрема за використання у посівах різних засобів захисту рослин.

Дослідження вчених, зокрема О. Дерменко, Ю. Туровнік, А. Парфенюк, І. Безноска, В. Деменко та їх співавторів. [14–18] упродовж останніх років показують, що насіння сояшника контаміноване переважно такими мікроміцетами: *Alternaria helianthi*, *A. alternata*, *A. macrospora* Zimm, *Rhizoctonia bataticola*, *Macrophomina phaseolina*, *Plasmopara halstedii*, *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *Rhizopus stolonifer*, *Penicillium* spp., *Curcularia lunata*, *Drechslera tetramera*, *Fusarium solani*, *F. moniliforme*, *F. oxysporum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Bipolaris bisepta*, *Chaetomium spinosum*, *Cladobotryum varium*, *C. cladosporioides*, *Botrytis cinerea* Pers., *Rhizopus nodosus*, *Embellisia helianthi* (Hansf.) Pidolp, *Phomopsis helianthi* Munt.

Шкодоцинність сірої та білої гнилей сояшника (*Sclerotinia sclerotiorum*, *Botrytis cinerea*) проявляється у значному зниженні врожайності (на 5–25%) та погіршенні товарних властивостей насіння. Уражене насіння набуває темного забарвлення, а згодом — гіркоти, що негативно впливає на його харчову цінність. Вміст олії у такому насінні зменшується до 10%, до того ж кислотне число олії зростає в 10–100 разів, що робить її непридатною для споживання в їжу. Вугільна гниль сояшника (*Sclerotium bataticola*) зумовлює втрату врожаю на рівні 18–64%, зменшення розміру кошика на 30–35, маси 1000 насінин на 13–36% та зниження вмісту олії. Ураження сояшника фомопсисом (*Phomopsis helianthi*) негативно впливає на посівну та товарну якість насіння, зменшуючи масу 1000 насінин у 1,5–2 рази, а олійність — на 4,5%, вміст олеїнової кислоти — на 64–87%. Поширення пероноспорозу (*Plasmopara helianthi*) знижує врожайність, а також — і вміст олії в насінні, порушуючи процеси дихання та вуглеводного обміну [17].

Одночасно змінюється біологія розвитку шкідливих організмів, подовжуються періоди їх активності, що призводить до зростання фітосанітарного ризику для агроценозів. Наукові публікації останніх років акцентують увагу на необхідності адаптації агротехнологій до нових кліматичних умов. Це передбачає інтегроване

застосування біологічних методів захисту рослин, створення стійких сортів і гібридів, а також розробку стратегій моніторингу та прогнозування поширення шкідливих організмів.

Останні наукові дослідження таких іноземних вчених, як Haidar R. Fermaud M., Abdollahzadeh J., Mohammadi Goltapeh E. [18, 19] підтверджують перспективність використання препаратів біологічного походження у технологіях вирощування сояшника як альтернативи або доповнення до традиційних агрохімікатів. Зокрема, численні праці присвячені вивченню впливу мікробіологічних препаратів, біофунгіцидів, біоінсектицидів та органічних стимуляторів росту на фітосанітарний стан агроценозів сояшника та його продуктивність. Згідно з дослідженнями, застосування біологічних препаратів на основі бактерій роду *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Trichoderma* та мікоризоутворювальних грибів сприяє зниженню чисельності фітопатогенних мікроміцетів у ризосфері та на насінні сояшника. Це забезпечує підвищення стійкості рослин до комплексу грибкових хвороб, зокрема фомозу (*Phoma macdonaldii*), сірої гнилі (*Botrytis cinerea*) та білої гнилі (*Sclerotinia sclerotiorum*).

Також відомий позитивний вплив препаратів біологічного походження на ріст і розвиток рослин, покращення їхньої врожайності та поліпшення якісних показників продукції, як-от масова частка олії, натура зерна та зниження кислотного числа. Використання вищезгаданих препаратів у системі позакореневого підживлення сприяє активізації мікробіологічної активності ґрунту, збереженню його родючості та підвищенню екологічної стійкості агроценозів.

Отже, дослідження контамінації насіння сояшника патогенними мікроміцетами, оцінка їхнього впливу на врожайність та якість продукції, пошук альтернативних заходів щодо зменшення ураження є надзвичайно актуальними. Вони мають важливе значення для забезпечення стабільного виробництва високоякісного насіння сояшника, зниження втрат урожаю, попе-

редження забруднення мікотоксинами та посилення конкурентоспроможності продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках.

**МАТЕРІАЛИ
ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Дослідження здійснювали в польових умовах на території ПП «Біла криниця» (Тернопільська обл., Кременецький р-н) упродовж 2021–2023 рр. на базі тимчасового польового досліджу та в лабораторії біоконтролю агроєкосистем і органічного виробництва відділу агробіоресурсів та екологічно безпечних технологій ІАП НААН.

Ґрунт на дослідних ділянках — темно-сірий опідзолений глеюватий крупнопилувато-легкосуглинковий на лесоподібних суглинках. Уміст гумусу в орному шарі — 2,66%, рН_{сол.} — 5,7, гідролітична кислотність — 2,8–3,5 мг-екв./100 г ґрунту, ступінь насичення основами — 88%, уміст легкогідролізованих сполук азоту (за Корнфілдом) — 95 мг/кг ґрунту, рухомих сполук фосфору та калію (за Чириковим) — 112 мг/кг та 80 мг/кг ґрунту відповідно.

У дослідженні агротехнічні заходи для вирощування соняшника відповідали за-

гальноприйнятим стандартам для зони Полісся.

Схему досліджу було закладено рендомізованим способом, яка включала застосування таких препаратів: Верно FG — мікродобриво з фунгіцидною дією (Cu — 30%, Zn — 30%) у нормі 0,5 кг/га; Міра, РК — рістрегулятор, що містить комплекс органічних вуглецевих сполук, макро- та мікроелементи (K, S, Mg, I, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Se, B, Br, Co) та фізіологічно активні речовини; Nordox 75 WG — контактний фунгіцид, що містить оксид купруму (Cu₂O) у кількості 860 г/кг (еквівалентно 750 г/кг купруму), в нормі 0,3 кг/га. Всі препарати включено до Переліку пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні на 2024 р. [20]. Препарати були внесені в різних комбінаціях у фазі 4–6 листків (ВВСН 14–16) та у фазі зірочки (ВВСН 51–55) (табл. 1).

Для дослідження використовували рослини соняшника (*Helianthus annuus* L.) гібрида СИ Арізона від виробника «Сингента» (Syngenta AG, Франція, США), що рекомендований для олієпереробних підприємств, як один із найвисоковрожайніших гібридів із підвищеним вмістом олії.

Таблиця 1. Схему досліджу

Варіант досліджу	Схему досліджу	К-сть обробок	Фаза розвитку культури на момент обробки
Обробки у період вегетації			
I	Верно FG, 0,5 кг/га; Nordox 75 WG, 0,3 кг/га	2	4–6 листків (ВВСН 14-16) фаза зірочки (ВВСН 51-55)
II	Верно FG, 0,5 кг/га + Міра, РК, 0,75 л/га; Nordox 75 WG, 0,3 кг/га + Міра, РК, 0,75 л/га	2	4–6 листків (ВВСН 14-16) фаза зірочки (ВВСН 51-55)
III	Nordox 75 WG, 0,3 кг/га; Nordox 75 WG, 0,3 кг/га	2	4–6 листків (ВВСН 14-16) фаза зірочки (ВВСН 51-55)
Контроль	*Стандартна схема господарства (опис подано нижче)		

Примітки: * контрольним варіантом слугувала запланована схема досліджу господарством, яка включала внесення за посіву стартових добрив Квантум Діафан, 5-20-5 (25 кг/га) та Фітостарт Спринт, 6-24-6 (22 кг/га); післясходове обприскування гербіцидами у фазі ВВСН 02–05 — Айдахо (0,85 л/га), Сора-НЕТ (1,9 л/га), Старт (1 л/га), ВВСН 12–14 — Челендж (1,5 л/га); ВВСН 14 — Фюзілад Форте (0,6 л/га); позакореневе обприскування комплексом препаратів у фазі ВВСН 18–20 — фунгіцид Абакус (0,9 л/га), інсектицид Оперкот Акро (0,1 л/га), регулятор росту Тава (0,6 л/га), макро- та мікродобрива Новатор Бор (1 л/га) сульфат магнію (2,5 кг/га); позакореневе обприскування комплексом препаратів у фазі ВВСН 51–52 — фунгіцид Аканто Плюс (1 л/га), інсектицид Віарес (0,12) л/га, мікродобриво Новатор Бор (0,75 л/га); у фазі ВВСН 85–90 десикація Диквалан Макс (0,8 л/га).

Відбір проб та аналізування насіння сояшника на наявність патогенної мікрофлори проводили згідно з відомими загальноприйнятими методиками [21–23]. Визначення ендofітної мікофлори здійснювали біологічним методом, що ґрунтується на стимуляції росту і розвитку патогенних мікроорганізмів у насінні сояшника [21–23]. Мікроміцети ідентифікували методом виготовлення мікроскопічних препаратів, які досліджували за допомогою світлового мікроскопа.

Ідентифікацію фітопатогенних мікроміцетів вивчали за морфокультуральними ознаками завдяки відомим визначникам [24–27]. Латинські назви грибів узгоджено з Fungal Databases Nomenclature and Species Banks (URL: <https://www.mycobank.org>).

Частоту трапляння (A) видів патогенних мікроміцетів на насінні розраховували за формулою [28]:

$$A = B / C \cdot 100 ,$$

де A — частота трапляння видів; B — кількість зразків, у яких виділено цей вид; C — загальна кількість виділених видів.

Для оцінки видового різноманіття мікроміцетів використовували методи порівняльної флористики — обчислювали частоту трапляння у відсотках, застосовуючи коефіцієнт Тюрінга [28].

Визначення якісних показників насіння сояшника проводилося у випробувальній службі Державного підприємства «Всеукраїнський державний наукововиробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів».

Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали за допомогою статистичного та кореляційного методів математичної статистики з використанням програмних засобів Microsoft Excel. Результати обробля-

лися згідно з одностороннім ANOVA з подальшим тестом Тьюкі для оцінки значущості відмінностей між групами ($p < 0,05$). Аналіз робили у програмному середовищі R (версія 4.3.1).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Під час проведення мікологічної експертизи насіння сояшника за візуального огляду зразків у всіх варіантах було виявлено склероції, що свідчить про поширення фітопатогена *Sclerotinia sclerotiorum* у посівах сояшника. Це вказує на високий ризик інфекції цієї культури, що потребує уваги під час розробки заходів для контролю та зменшення впливу цього патогена на якість і врожайність насіння (рис. 1).

Подальші дослідження видового складу мікроміцетів, виділених із насіння сояшника в контрольних зразках (рис. 2) зафіксували домінування *Alternaria alternata* (80%) та *Alternaria helianthi* (75%) у контрольній групі. Значною частотою трапляння та патогенною активністю в цих зразках відзначилися *Phomopsis helianthi* (50%) та *Sclerotinia sclerotiorum* (25%). Інші гриби, такі як *Botrytis cinerea* (10%), *Stemphylium vesicarium* (10%), *Bipolaris bisepta* (15%), *Aspergillus flavus* (1) та *Curvularia aeria* (10%), мають меншу частоту трапляння, що може

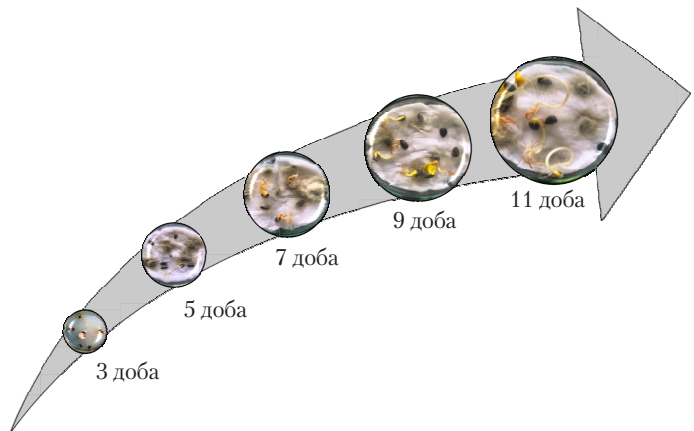


Рис. 1. Контамінація насіння *Helianthus annuus* L. мікроміцетами в контрольному варіанті

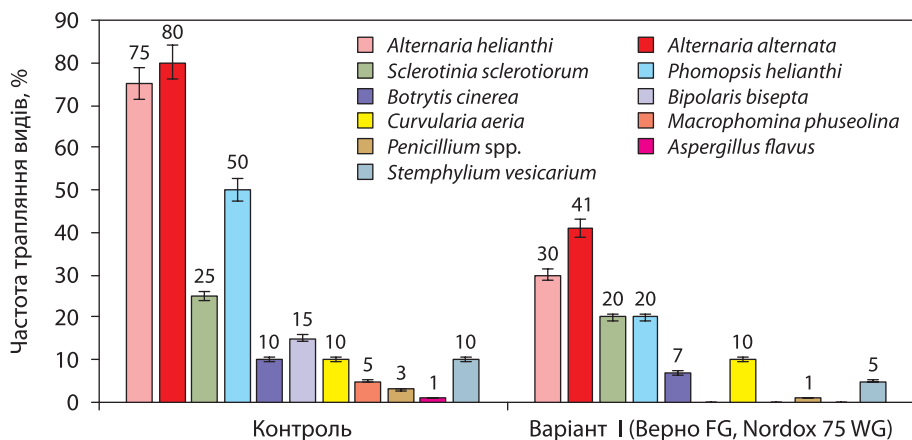


Рис. 2. Частота трапляння фітопатогенних мікроміцетів за впливу Верно FG та Nordox 75 WG

вказувати на несприятливі умови для розвитку мікроміцету в агроценозі.

Застосування препаратів Верно FG, Nordox 75 WG (варіант I) на насінні сояшника сприяло значному зниженню частоти трапляння мікроміцетів *A. helianthi* (до 40%, $p < 0,001$) та *A. alternata* (до 51%, $p < 0,001$), що свідчить про високу ефективність оксиду купруму у складі вищезгаданих препаратів як фунгіцидного агента, що перешкоджає проростанню спор і росту міцелію мікроміцету роду *Alternaria* spp.

Зниження частоти трапляння мікроміцетів *P. helianthi* та *S. sclerotiorum* до 20% ($p < 0,001$) вказує на ефективність препаратів Nordox 75 WG у поєднанні із Верно FG, які пригнічують проростання спор і ріст міцелію фітопатогена, але їх дія була недостатньою для повного контролю інфекційних структур.

Зменшення частоти трапляння мікроміцетів *B. cinerea* (до 7%), *Penicillium* spp. (до 1%), *Stemphylium vesicarium* (до 5%) ($p < 0,01$) зафіксували ефективність препарату Nordox 75 WG у поєднанні із Верно FG. Відмічено зникнення видів *B. bisepata*, *Curvularia aerea* та *A. flavus*, що підкреслює їхню високу чутливість до препаратів фунгіцидної дії (див. рис. 2).

Виявлено істотне зниження частоти трапляння фітопатогенних мікроміцетів у насінні сояшника за впливу контактного

фунгіциду Nordox 75 WG (варіант III), що становить від 1 до 15% (рис. 3).

Використання фунгіциду Nordox 75 WG сприяло значному зменшенню частоти трапляння фітопатогенних мікроміцетів порівняно з контрольним варіантом: *A. helianthi* від 75 до 7%, *P. helianthi* від 50 до 5%, *B. cinerea* від 40 до 7%, *A. alternata* від 80 до 15%, *B. bisepata* від 15 до 5%, *C. aerea* від 10 до 2%, *M. phaseolina* від 5 до 1%, *S. sclerotiorum* від 25 до 8%, *Penicillium* spp. від 3 до 1% та *S. vesicarium* — повне пригнічення розвитку. Отримані результати свідчать про високу ефективність контактного фунгіциду Nordox 75 WG у боротьбі з фітопатогенними мікроміцетами, що вказує на виражену фунгіцидну дію оксиду купруму, як складового елементу препарату.

Подібні результати були одержані за дослідження впливу суміші препаратів: Верно FG + Міра, РК + Nordox 75 WG, де частота трапляння видів коливалася від 1% до 35% (рис. 4).

Застосування даних препаратів зумовило ефективне зниження частоти трапляння мікроміцетів порівняно із контрольним варіантом: *A. alternata* — від 80 до 35%, *A. helianthi* від 75 до 7%, *S. sclerotiorum* — від 25 до 20%, *P. helianthi* — від 50 до 10%, *B. cinerea* — від 40 до 15%, *C. aerea* — від 10 до 5%, *Penicillium* spp. від 3 до 1%, *B. bisepata*, *M. phaseolina*, *S. vesicarium* не зустрічалися на на-

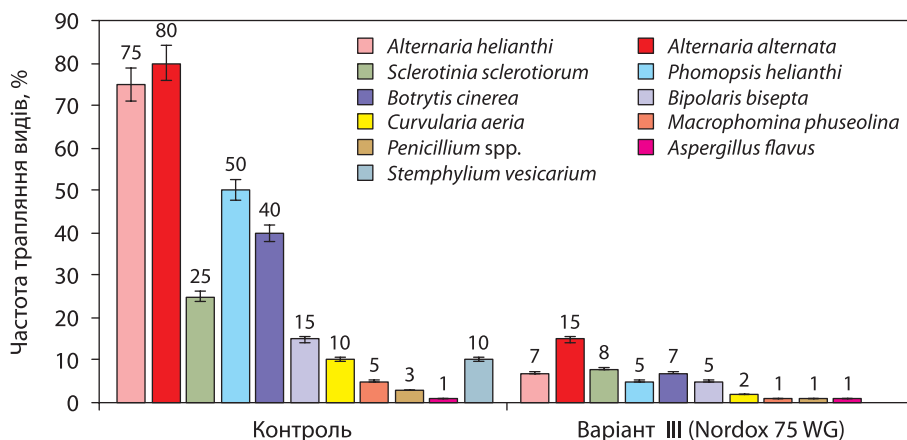


Рис. 3. Частота трапляння фітопатогенних мікроміцетів за впливу Nordox 75 WG (варіант III)

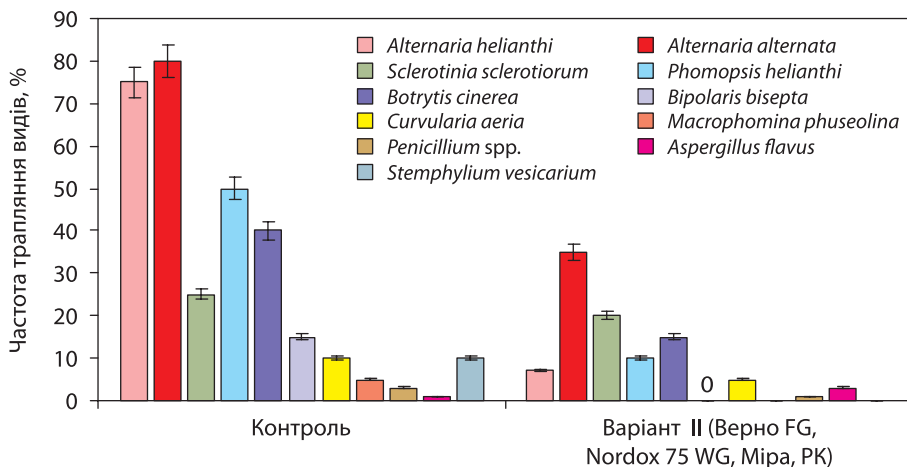


Рис. 4. Частота трапляння фітопатогенних мікроміцетів за впливу Верно FG + Міра, PK + Nordox 75 WG

сінні сояшника. Водночас частота трапляння сапрофітного мікроміцету *A. flavus* — зросла від 1 до 3%, що може свідчити про його толерантність до препаратів.

Більшість мікроміцетів, виділених із зразків насіння сояшника, належать до широкоспеціалізованих фітопатогенів, здатних уражувати різні види рослин. Вони зберігаються у ґрунті та на рослинних рештках, що робить їх чинниками біологічного забруднення агрофітоценозів [24; 27; 28]. Контамінація сояшника дани-

ми мікроміцетами зумовлює недобір урожаю, значне зниження якості насіння, а також забруднення продукції небезпечними метаболітами, зокрема мікотоксинами.

З метою оцінки впливу агрохімічних препаратів на якість насіння сояшника, проведено дослідження за кількома варіантами обробки, що включали застосування різних комбінацій препаратів. Оцінка якості насіння здійснювалася за чотирма основними показниками: масова частка вологи, масова частка олії на суху речо-

Таблиця 2. Якісні показники насіння соняшника (*Helianthus annuus* L.)

Варіанти	Масова частка вологи, %	Масова частка олії у перерахунку на суху речовину, %	Кислотне число олії, мг КОН/г	Натура зерна, г/л
I	8,0 ± 0,1	52,0 ± 1,2	4,1 ± 0,2	434 ± 6
II	8,0 ± 0,1	52,6 ± 1,3	4,1 ± 0,2	445 ± 5
III	7,6 ± 0,2	52,4 ± 1,1	3,5 ± 0,4	440 ± 5
Контроль	9,2 ± 0,2	48,6 ± 1,4	5,2 ± 0,3	392 ± 7
Вимоги НД*	6,0–8,0	40–50	1,3–5,0	—

Примітка: * вимоги НД наведені згідно з [29].

вину, кислотне число олії та натура зерна (табл. 2).

За результатами вимірювань, масова частка вологи у насінні варіантів I, II та III знаходилась у межах 7,6–8,0%. У контрольному варіанті волога становила 9,2% ($p < 0,01$), що є вище допустимого рівня і може вказувати на недостатню дегідратацію насіння (як наслідок ураження *Alternaria* та *Phomopsis*) або неналежне зберігання. Така підвищена вологість у контрольному та інших варіантах створює сприятливі умови для розвитку пліснявих грибів, якот *Aspergillus flavus*, що підвищує ризик забруднення насіння фітопатогенними мікроорганізмами та зниження його якості.

Збільшення масової частки олії у варіантах I–III (52,0–52,6%) порівняно з контролем (48,6%, $p < 0,01$) свідчить про покращання фотосинтетичної активності рослин завдяки зменшенню ураження патогенами. Препарати фунгіцидної дії Nordox 75 WG та Верно FG ефективно контролюють патогени, що викликають плямистість листків (*Alternaria* spp.) та стеблові гнилі (*Phomopsis helianthi*), тим самим поліпшуючи фотосинтетичну активність і накопичення ліпідів у насінні. Найвищий показник у варіанті II (52,6%, $p < 0,01$) може бути пов'язаний з оптимальним балансом між фунгіцидним захистом і стимуляцією фізіологічних процесів рослини біологічним препаратом Міра РК.

Кислотне число є ключовим показником якості олії, оскільки відображає вміст вільних жирних кислот, що утворюються внаслідок гідролізу та окислення ліпідів. У варіанті III кислотне число (3,5 мг КОН/г)

було найнижчим, що відповідає 2-му класу якості та зумовлює високу придатність олії для переробки. Варіанти I та II (4,1 мг КОН/г) також відповідають нормам, але потребують рафінування для харчового використання. У контролі кислотне число (5,2 мг КОН/г) перевищує допустимий рівень, що може бути пов'язано з ураженням насіння грибами.

Натура зерна відображає щільність і якість насіння, впливаючи на його придатність до переробки. Найвищий показник у варіанті II (445 г/л) вказує на кращу наповненість насіння, що може бути результатом дворазового обприскування рістрегулятором Міра РК. Варіанти I та III (434 та 440 г/л) також перевищують контроль (392 г/л), що підтверджує позитивний вплив комплексу препаратів на формування насіння. Низький показник у контролі, ймовірно, пов'язаний із ураженням патогенами, що призвело до порушення розвитку насіння.

Найбільшу врожайність отримано у варіанті II (3,98 т/га) із внесенням фунгіцидів та рістрегулятора, що забезпечило тривалий захист від фітопатогенів, зокрема *Alternaria* spp. та *Phomopsis helianthi*, які значно знижують урожайність через хворобу листків та стебел. Зростання врожайності на 0,59 т/га порівняно з контролем (3,39 т/га) зафіксувало економічну доцільність використання комбінації Nordox 75 WG, Міра РК та Верно FG.

Хоча комбінація фунгіцидів показала високу ефективність, варто враховувати екологічні ризики, зокрема накопичення купруму в ґрунті від Nordox 75 WG, що

може пригнічувати корисні мікроорганізми.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження комбінації препаратів Nordox 75 WG, Верно FG та Міра РК виявило їхній значний вплив на фітосанітарний стан, якісні показники насіння *Helianthus annuus* L. та врожайність. Застосування препаратів істотно знизило частоту трапляння фітопатогенних мікроміцетів: *Alternaria helianthi*, *Alternaria alternata* та *Phomopsis helianthi*, що свідчить про високу фунгіцидну дію оксиду купруму, як складового елементу препарату Nordox 75 WG, що істотно пригнічує поширення мікроміцетів в агроценозах. Мікроміцети *Sclerotinia sclerotiorum*, *Botrytis cinerea* показали меншу чутливість до дії препаратів, проте встановлено повне пригнічення видів *Bipolaris bisepata*, *Aspergillus flavus*, *Stemphylium vesicarium*. Отже, досліджена комбінація препаратів є перспективним засобом у боротьбі з фітопатогенами та може бути рекомендована для використання у

виробничих умовах із метою оптимізації захисту соняшника.

Якісні показники насіння покращилися: масова частка вологи у варіантах I–III знизилася до 7,6–8,0% (контроль — 9,2%), що відповідає ДСТУ 7011:2009 (6,0–8,0%) і зменшує ризик розвитку пліснявих грибів. Масова частка олії зросла до 52,0–52,6% (контроль — 48,6%), що перевищує норму (40–50%), завдяки зниженню ураження патогенами, які зменшують фотосинтез (*Alternaria*, *Phomopsis*). Кислотне число знизилося до 3,5–4,1 мг КОН/г (контроль — 5,2 мг КОН/г), що відповідає 2-му класу якості, а у варіанті III (3,5 мг КОН/г) олія придатна для переробки без інтенсивного рафінування. Натура зерна у варіантах I–III (434–445 г/л) перевищила контроль (392 г/л), що вказує на кращу наповненість насіння. Врожайність у варіанті II досягла 3,98 т/га (контроль — 3,39 т/га), що підтверджує економічну доцільність дворового обприскування посівів комплексу препаратів із обов'язковим внесенням рістрегулятора біологічного походження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Afzal, R. S., Mughal, S. M., & Munir, M. (2010). Mycoflora associated with seeds of different sunflower cultivars and its management. *Pakistan Journal of Botany*, 42, 435–445.
2. АПК-Інформ. (n.d.). [Назва конкретної новини, якщо доступна]. URL: <https://www.apk-inform.com/uk/news/1541999>.
3. United States Department of Agriculture. (n.d.). [Назва конкретного звіту чи даних, якщо доступна]. URL: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads?tabName=%20default%20>.
4. Україна збільшила експорт соняшникової олії до максимуму за останні два роки. (2024, January 3). URL: <https://forbes.ua/news/ukraine-zbilshila-eksport-sonyashnikovoii-olii-do-maksimumu-za-ostanni-dva-roki-03012024-18297>.
5. Талавіря, М. П., Полюхович, В. С., & Ващенко, І. В. (2021). Розвиток олієжирової галузі як стратегічно важливої для розвитку економіки України. *Геополітика України: історія і сучасність*, 1(26), 113–126. DOI: [https://doi.org/10.24144/2078-1431.2021.1\(26\)](https://doi.org/10.24144/2078-1431.2021.1(26)).
6. Матусевич, Г. Д., Кічігіна, О. О., Смутьська, І. В., & Шацман, Д. О. (2024). Урожайність та якість насіння гібриду соняшника НК Конді за різних технологій вирощування. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*, 1(11), 107–144. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2024.01.13>.
7. Мостов'як, І. І. (2020). Інтегрована система захисту рослин у формуванні збалансованих агро-еко-систем. *Збалансоване природокористування*, 1, 77–86. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2020.203932>.
8. Жуйков, О. Г., & Бурдюг, О. О. (2020). Фітосанітарний стан та продуктивність гібридів соняшника за різних рівнів біологізації технології вирощування. *Аграрні інновації*, 3, 26–32. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.3.5>.
9. Дем'яненко, Т. Т., Краснокутська, Ю. В., & Погорьчук, З. І. (2017). Ембелізія соняшника (*Embelisia helianthi* (Hansf.) Didol) в Україні. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*, 24, 68–76.
10. Мостов'як, І. І. (2019). Екологічна парадигма інтегрованого захисту рослин. *Карантин і захист рослин*, 5–6, 12–16. DOI: <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2019.5-6.12-16>.
11. Русан, В. М., Жураковська, Л. А., & Жаліло, Я. А. (2024). *Перспективи розвитку аграрного сектора України в умовах кліматичних змін: аналітична доповідь* (Я. А. Жаліло, ред.). НІСД. DOI: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.09>.
12. Шовкова, О. (2022). Вплив змін клімату на роз-

- воток рослинництва в Україні. У І. Серова, Л. Талюта (Ред.), *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти* (рр. 79–83). Київ: Науково-методичний центр ВФПО.
13. Тимошук, Т. М., Котельницька, Г. М., Курцова, С. В., & Рибак, Н. Р. (2022). Урожайність насіння соняшнику залежно від застосування фунгіцидів. У О. В. Романов, І. В. Забродіна, С. В. Станкевич, Л. Мешкова, І. П. Леженіна, В. П. Туренко (Ред.), *Захист і карантин рослин у XXI столітті: проблеми і перспективи* (рр. 205–208). Харків: Державний біотехнологічний університет.
 14. Дерменко, О. П. (2017). *Хвороби соняшника: рекомендації щодо діагностики та заходів захисту*. НУБіП. Retrieved March 4, 2025. URL: <https://www.slideshare.net/agromedicina/darmenkoleg>.
 15. Туровнік, Ю. А., Парфенюк, А. І., Безноска, І. В., & Мосійчук, І. І. (2023). Формування фітопатогенного мікобіому насіння гібридів соняшнику в умовах Центрального Лісостепу України. *Збалансоване природокористування*, 2, 93–102. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2023.282746>.
 16. Деменко, В. М., Голінач, О. Л., & Власенко, В. А. (2019). Фітосанітарний стан посівів соняшнику в умовах Північно-Східного Лісостепу України. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*, 4(38), 1–7. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2019.4.1>.
 17. Вплив шкідників і хвороб на олійність соняшнику. (n.d.). URL: <https://agro-business.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/30390-vplyv-shkidnykiv-i-khvorob-na-oliinist-soniashnyku.html>.
 18. Haidar, R., Fermaud, M., Calvo-Garrido, C., Routet, J., & Deschamps, A. (2016). Modes of action for biological control of *Botrytis cinerea* by antagonistic bacteria. *Phytopathologia Mediterranea*, 55(3), 13–34. DOI: https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-18079.
 19. Abdollahzadeh, J., Mohammadi Goltapeh, E., & Rouhani, H. (2006). Biological Control of Sclerotinia Stem Rot (*S. minor*) of Sunflower Using *Trichoderma* Species. *Plant Pathology Journal*, 5, 2, 228–232. DOI: <https://doi.org/10.3923/ppj.2006.228.232>.
 20. Перелік пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні на 2024 р. (2024, May 29). URL: <https://data.gov.ua/dataset/389ddb5a-ac73-44bb-9252-f899e4a97588>.
 21. *International rules for seed testing 2024: Chapter 7. International Seed Testing Association*. DOI: <https://doi.org/10.15258/istarules.2023.07>.
 22. ДСТУ 4138:2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. (2002). Держспоживстандарт України.
 23. ДСТУ 4180:2003. Карантин рослин. Методи мікологічної експертизи під карантинних матеріалів. (2003). Держспоживстандарт України.
 24. Watanabe, T. (2010). *Pictorial atlas of soil and seed fungi: Morphologies of cultured fungi and key to species* (3rd ed.). CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/EBK1439804193>.
 25. Ellis, M. B. (2001). *More dematiaceous hyphomycetes*. CAB International.
 26. Pitt, J. I., & Hocking, A. D. (2009). *Fungi and food spoilage*. Springer.
 27. Minter, D. W., & Dudka, I. (Eds.). (1996). *Fungi of Ukraine: A preliminary checklist*. CAB International.
 28. Леонтьев, Д. В. (2007). *Флористичний аналіз у мікології*. Вид. група «Основа».
 29. ДСТУ 7011:2009. Соняшник. Технічні умови. (2009). Держспоживстандарт України.

Стаття надійшла до редакції журналу 04.01.2025

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПРЕПАРАТУ СКЛЕРОЦИД® ТА ЙОГО МІКРОБНИХ СКЛАДОВИХ ПРОТИ ЗБУДНИКА БІЛОЇ ГНИЛІ *SCLEROTINIA SCLEROTIORUM* (LIB.) DE BARY

В.А. Болоховська¹, О.В. Нагорна¹, Н.М. Волощук^{1,2},
В.В. Болоховський¹, О.М. Стерлікова¹, Т.О. Хоменко¹,
В.В. Бородай^{1,3,4}

¹Компанія BTU Biotech (м. Ладизжин, Вінницька обл., Україна)

e-mail: valent2006@ukr.net; ORCID: 0009-0005-2728-4589

e-mail: olganova2008@ukr.net; ORCID: 0009-0001-6628-9383

e-mail: vlad@btu-center.com; ORCID: 0009-0007-0074-6362

e-mail: chmiloksana@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1952-7844

e-mail: volyata@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4095-3706

²Університет штату Пенсильванія (Юніверсіті Парк, США)

e-mail: voloshchuk_m_nataliia@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9852-734X

³Національний університет біоресурсів і природокористування України
(м. Київ, Україна)

⁴Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: veraboro@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8787-8646

Застосування біопрепаратів на основі консорціуму мікроорганізмів із різноманітними механізмами дії, а саме пригніченням розвитку, утворення склероціїв, апотеціїв із аскоспорами *Sclerotinia sclerotiorum*, інших фітопатогенів, індукуванням стійкості рослин, матиме пролонговану дію щодо зменшення пестицидного навантаження в агро-ценозах культурних рослин. Антифунгальну дію культуральних рідин мікроорганізмів і складових та комплексного біопрепарату Склероцид® щодо росту, розвитку міцелію та склероціїв *S. sclerotiorum*, *Fusarium verticillioides*, *F. graminearum*, *F. sporotrichioides*, *F. culmorum*, *F. solani*, *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea*, *Drechslera sorokiniana*, *Verticillium lateritium*, *Cladosporium herbarum* вивчали за методами подвійних культур, дифузії в агар (метод лунок) і модифікованим методом агарових блоків. Статистичну обробку даних проводили за програмами Microsoft Office Excel® для Microsoft Windows 2010 і GraphPad Prism версії 10.4.2.633. Встановлено високу антифунгальну дію мультикомпонентного біопрепарату Склероцид® та його складових *C. minitans* IMB F-100120, *Trichoderma harzianum* IMB F-100097 *B. subtilis* IMB B-7678 і *B. licheniformis* IMB B-7778, пригнічення розвитку склероціїв та росту міцелію *S. sclerotiorum* високого ступеня, пролонговану дію щодо стримування розвитку ґрунтових патогенів. Стимування розвитку міцелію збудника білої гнилі спостерігали впродовж 35 днів за сумісного культивування грибів *C. minitans* IMB F-100120 та *S. sclerotiorum*. До того ж відбувалась колонізація склероціїв *S. sclerotiorum* із утворенням пікноспор, значне уповільнення формування нових склероціїв. Унікальність штаму *C. minitans* IMB F-100120 полягає в пролонгованому стримуванні розвитку ґрунтових патогенів *V. lateritium*, *F. culmorum*, *F. verticillioides*, *D. sorokiniana* та *A. alternata*. Інгібуючий ефект *Sclerotyd*® становив щодо *S. sclerotiorum* — 91,2–100% порівняно з контролем, *F. sporotrichioides* — 69,1–72,8%, *F. graminearum* — 73,4–83,4%, *F. solani* — 74,2–100%, *F. culmorum* — 57,2–71,5%, *F. verticillioides* — 69,1–78,6%, *A. alternata* — 69,3–74,4%, *B. cinerea* — 80,4–100%. У подальших дослідженнях заплановано вивчати механізми дії складових препарату Склероцид® щодо збудників хвороб.

Ключові слова: біофунгіцид, консорціум мікроорганізмів, фітопатогени, антифунгальна дія.

ВСТУП

Sclerotinia sclerotiorum (Lib.) de Bary є збудником склеротиніозу, або білої гнилі, однієї з найрозповсюдженіших грибних хвороб у світі. Це неспеціалізований некротрофний патоген із широким спектром дії — поліфаг, що уражує понад 500 видів дводольних культурних і дикорослих рослин, зокрема ключові сільськогосподарські культури, що призводить до значних економічних збитків через зниження врожайності та погіршення якості продукції [1–3].

У патогенезі *S. sclerotiorum* беруть участь ферменти, щавлева кислота, різноманітні гени і секреторні білки гриба, як основні чинники вірулентності. Джерелом інфекції *S. sclerotiorum* є склероції, що утворюються з міцелію і здатні зберігати життєздатність у ґрунті до 10 років, підвищуючи ризик зараження рослин [3; 4].

Стратегія довгострокового захисту рослин від збудника білої гнилі, за дослідженнями українських та іноземних вчених, обмежена біологічними особливостями розвитку патогена, серед яких варто зазначити тривалий період виживання склероцій у ґрунті без рослин-господарів, розташування по профілю ґрунту, карпогенний і міцеліогенний шляхи їх проростання відповідно до умов середовища. Це забезпечує збуднику можливість поширення як повітряно-крапельним, так і ґрунтовими шляхами завдяки періодам формування аскоспор в апотеціях [5], наявності штамів склеротинії, стійких до синтетичних фунгіцидів, а також через відсутність резистентних генотипів рослин [2; 6]. Тому надзвичайно актуальними є стратегії біологічного контролю *S. sclerotiorum* [5; 7; 8].

Останніми роками дедалі більше уваги приділяється розробці комплексних біопрепаратів для пригнічення фітопатогенних мікроорганізмів, складові яких характеризуються потенційною активністю, що зумовлена взаємодією ретельно підібраних видів антагоністів [5].

Ефективна протидія *S. sclerotiorum* потребує застосування комбінованих методів: хімічного й біологічного захисту, дотримання сівозміни та використання

стійких сортів. *Paraphaeosphaeria minitans* (W.A. Campb.) Verkley (син. *Paraconiothyrium minitans* (W.A. Campb.) Verkley, базіонім *Coniothyrium minitans* W.A. Campbell) є спеціалізованим мікопаразитом, відомим своєю ефективністю в боротьбі безпосередньо з *S. sclerotiorum* [3–5; 9]. Однак, окрім збудника білої гнилі, рослини уражуються іншими фітопатогенами, що зберігаються у ґрунті і з якими *P. minitans* не взаємодіє. Склероції *S. sclerotiorum*, перебуваючи в ґрунті, можуть бути осередками розвитку супутніх інфекцій, зокрема збудниками корневих гнилей та в'янення (*Fusarium* spp., *Drechslera* spp.), а також пліснявиння насіння (*Alternaria alternata*, *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp.) [7]. Комплексний підхід може допомогти одночасному вирішенню проблеми поширення і розвитку інших збудників хвороб, що передаються через ґрунт. Застосування біопрепаратів із різними механізмами дії, зокрема тих, що індукують стійкість рослин, пригнічують формування склероцій *S. sclerotiorum* та апотеціїв з аскоспорами, сприятиме зменшенню використання фунгіцидів, матиме пролонговану дію і знижуватиме пестицидне навантаження.

Ефективність біоконтролю проти збудника білої гнилі, особливості синергічної взаємодії мікопаразита *P. minitans* та штамів-продуцентів *Trichoderma* spp. і *Bacillus* spp. у складі консорціуму та окремо, вивчено недостатньо. Тому дослідження в цьому напрямі є надзвичайно актуальним.

Метою дослідження було вивчення характеру росту міцелію та особливостей формування склероцій фітопатогена *S. sclerotiorum* на різних за складом живильних середовищах, ефективності застосування комплексного біопрепарату Склероцид® (BTU Biotech company, Україна) та його мікробних складових проти збудника білої гнилі *S. sclerotiorum* та інших фітопатогенів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Штами *P. minitans*, *Trichoderma* spp. та *Bacillus* spp. є найрозповсюдженішими агентами біологічного контролю, які значно

зменшують поширення білої гнилі та кількість склероціїв у ґрунті [7].

Одним із механізмів взаємодії *P. minitans* і *Trichoderma* spp. з фітопатогенами є мікопаразитизм [1; 7]. Як високоспецифічний мікопаразит *P. minitans* продукує широкий спектр ферментів (хітинази та глюканаз), що руйнують оболонку склероціїв *S. sclerotiorum* та сприяють розкладанню щавлевої кислоти. Вторинні метаболіти *P. minitans*, такі як макросфелід А, бензофурани та хромани призводять до деградації склероціїв, пригнічують їх карпогенне проростання [10]. Ушкоджені склероції втрачають здатність до утворення плодівих тіл — апотеціїв, сформовані спори в яких є основним джерелом первинної інфекції та розповсюдження хвороби впродовж вегетації [11].

Гриби роду *Trichoderma* широко використовуються як агенти біологічного контролю [3–5]. Механізмами, за допомогою якого *T. harzianum* контролює *S. sclerotiorum*, переважно є гіфальний, а не склероціальний мікопаразитизм за участі таких ферментів, як хітинази, глюканаз, протеази та целюлази, а також зменшення щільності апотеціїв [3–5].

Значне обмеження *in vitro* росту гіф, зниження життєздатності склероціїв *Sclerotinia* spp. і формування апотеціїв з аскоспорами було встановлено за дії бактерій — антагоністів з роду *Bacillus*, які продукують феноли, циклічні ліпопептиди, включаючи ітурин, фенгіцин і сурфактин, леткі органічні сполуки (ЛОС) [12; 13]. Пригнічення *S. sclerotiorum* бактеріями роду *Bacillus* переважно відбувається за рахунок утворення пумілацидину, бацілібактину, бацілізину та інших антифунгальних сполук [14]. *Bacillus velezensis* 20507 здатен пригнічувати експресію генів, які кодують рибосомну субодиницю *S. sclerotiorum*, що призводить до інгібування синтезу білка [13], а також може спричиняти пошкодження клітинної мембрани [15].

За дослідженнями сканувальної та трансмісійної електронної мікроскопії, іноземні вчені Као та ін. (2023), Аязом та ін. (2024) показали морфологічну та мікро-

структурну деструкцію гіф *S. sclerotiorum*, оброблених *B. subtilis* RSS-1, у вигляді значного пошкодження клітинної стінки, розриву клітинної мембрани, зміщення цитоплазми та розпаду органел порівняно з необробленим контролем [16; 17]. Ушкодження гіфальної структури призводить до затримки росту і здатності до утворення склероціїв. Виявлено значне пригнічення активності полігалактуранази, целюлази та накопичення щавлевої кислоти — важливого чинника патогенності *S. sclerotiorum* за дії *B. subtilis* [16].

Одним з основних механізмів, відповідальних за активність біоконтролю *P. minitans*, *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp. є активація індукованої стійкості у рослин. Іноземними вченими Янгом та ін. (2020) встановлено, що надмірна експресія гена хітинази *CmCH1* у *P. minitans* призвела до збільшення накопичення H_2O_2 і активації захисних генів і ферментів у рослин сої, що підвищило її стійкість до *S. sclerotiorum* [18].

Мікроорганізми-антагоністи можуть по-різному впливати на *S. sclerotiorum* залежно від виду сільськогосподарської культури. Наприклад, іноземні вчені Вонг та ін. (2024) дослідили, що штами *Bacillus* продемонстрували високу ефективність на рослинах сої, тоді як на люцерні та квасолі звичайної — *P. minitans* та *Streptomyces* spp. відповідно [19].

P. minitans, *Trichoderma* spp. та *Bacillus* spp. переважно контролюють збудників хвороб рослин шляхом антибіозу, конкуренції, мікопаразитизму та індукції стійкості у рослин-господарів [20].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили в умовах лабораторії мікології (Інститут прикладної біотехнології, VTU Biotech). Для експериментальної роботи використовували живильні середовища картопляно-глюкозний агар (КГА) та Чапека-Докса з глюкозою із додаванням розчину стрептоміцину. Фунгіцидну активність чистих культур та культуральної рідини антагоністів, зокрема мікробних складових Склероциду®

P. minitans (*C. minitans*) IMB F-1000120, *Trichoderma lignorum*, *T. harzianum* IMB F-100097, *Bacillus subtilis* IMB B-7678, *B. licheniformis* IMB B-7778 перевіряли на склероціях, зібраних з уражених рослин та насіння соняшника, склероціях повторно отриманих у лабораторних умовах на КГА та на чистих культурах фітопатогенів, зокрема, *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea*, *Cladosporium herbarum*, *Drechslera sorokiniana*, *Fusarium culmorum*, *F. graminearum*, *F. solani*, *F. sporotrichioides*, *F. verticillioides*, *S. sclerotiorum*, *Verticillium lateritium*.

Антифунгальну дію культуральних рідин штамів мікроорганізмів та комплексного біопрепарату Склероцид® вивчали методами подвійних культур, дифузії в агар та модифікованим методом агарових блоків [21; 22].

Статистичну обробку даних здійснювали використовуючи програму Microsoft Office Excel® для Microsoft Windows 2010 (Microsoft Co., Редмонд, Вашингтон, США) і GraphPad Prism версії 10.4.2.633 (GraphPad Software, Бостон, Массачусетс, США). Дані пригнічення росту були подані у вигляді стовпчастих діаграм, що представляють стандартну помилку середнього ($\pm$ SEM)% інгібування росту. Односторонній аналіз варіації (ANOVA) проводили завдяки GraphPad Prism версії 10.4.2.633. Значимість кожної взаємодії визначали за допомогою значення F. Коли спостерігався значний F-тест, поділ середніх робили

завдяки тестам Tukey HSD. Статистичну значущість виявляли за $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Вивчення характеру росту та особливостей формування склероціїв фітопатогена *S. sclerotiorum*. За сприятливих умов склероції збудника білої гнилі *Sclerotinia sclerotiorum* можуть формувати щонайменше 6 генерацій, кожна з яких здатна продукувати близько 20 дочірніх склероціїв. Ці структури слугують резервуарами для супутніх патогенів, зокрема грибів родів *Aspergillus*, *Fusarium* та *Penicillium*, які спроможні заселяти склероції у ґрунті.

Дослідження показали, що склероції проростають з утворенням білого нещільного швидкоростучого міцелію на 2-гу добу інкубації на середовищах КГА та Чапека-Докса (рис. 1).

На 3–4-ту добу росту на міцелії спостерігається формування нових склероціїв у вигляді білих пухнастих скупчень, які згодом ущільнюються та на 7-му добу стають повністю сформованими і здатними проростати новим міцелієм та утворювати наступну генерацію склероціїв.

Встановлено, що склероції *S. sclerotiorum* краще формуються на напівприродному середовищі КГА, порівняно з синтетичним Чапека-Докса. На КГА на 7-му добу на міцелії з одного склероція сформувалось 20 нових склероціїв, тоді як на Чапека-

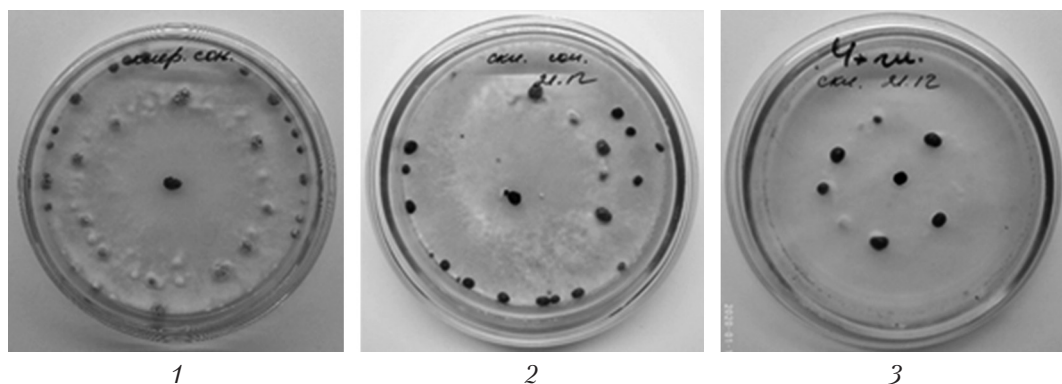


Рис. 1. Формування склероціїв гриба *S. sclerotiorum* на живильних середовищах: 1 — КГА на 4-ту добу; 2 — КГА на 7-му добу; 3 — Чапека-Докса з глюкозою на 7-му добу

Докса з'явилося лише 6. За подальшого розміщення вихідного склероцію на нове середовище КГА було отримано 29 дочірніх склероціїв. Це свідчить про те, що склероції краще формуються на субстратах близьких за складом до природних.

За 6-разового перенесення вихідного склероцію на нове середовище КГА в кожній наступній генерації отримали зменшення кількості склероціїв: у 1-й — 31 склероціїв; 2-й — 30; 3-й — 18; 4-й — 19; 5-й — 20; 6-й — 18 склероціїв (рис. 2).

Життєздатність склероціїв залежить від різних чинників — їхнього розміру, властивостей ґрунту, погодних умов, активності ґрунтових мікроорганізмів. Кожен склероцій за сприятливих умов може давати шість і більше генерацій.

Визначальними чинниками інфікування рослин є кількість склероціїв у ґрунті та їхня близькість до коренів рослин. Відповідно, середній термін життєздатності склероціїв 4–5 років, але за певних умов вони можуть зберігатись до 10 років [3]. Найдовше зберігаються склероції, які перебувають на поверхні ґрунту та на глибині до 6 см. Основними джерелами збудника білої гнилі є інфіковане насіння, ґрунт і рослинні рештки.

Зараження рослин *S. sclerotiorum* через міцелій від склероціїв, які знаходяться в ґрунті, зумовлює розвиток кореневої форми, що спричиняє системне ураження судинної системи та призводить до в'янення рослин. На склероціях, що опинилися на поверхні ґрунту, утворюються плоді тіла — апотеції з аскоспорами, які поши-

рюються повітряним шляхом і ініціюють зараження надземних органів рослин. На соняшнику ця форма хвороби проявляється у вигляді стеблової та кошикової гнилі, що супроводжується некрозами, розм'якшенням тканин і утворенням склероціїв, які потім потрапляють у ґрунт разом із рештками. Ураження кошиків соняшника білою гниллю може знижувати схожість насіння до 34%, кількість насіння в кошику — на 60,4%, а від прикореневої форми білої гнилі у період кінця цвітіння — початку наливу зерна, втрати врожаю з одного кошика можуть сягати 93,4%, на пізніших стадіях розвитку — 44,1% [23; 24].

Проведені нами дослідження продемонстрували, що склероції *S. sclerotiorum* є носіями інших ґрунтових патогенів, зокрема, родів *Aspergillus*, *Fusarium* та *Penicillium* (рис. 3).

Слід відмітити, що симптоми ураження поверхні склероціїв видами *Fusarium* та *Penicillium* були подібними, що свідчить про складність візуальної діагностики і важливість застосування біопрепарату комплексної дії з метою контролю супутньої інфекції.

Вивчення антагоністичної дії гриба *P. minitans* до *S. sclerotiorum*. Ефективність біоконтролю може залежати від сприйнятливості ізолятів *S. sclerotiorum* у певних ґрунтово-кліматичних умовах [25; 26]. Нікот із співавт. (2019), за швидкістю росту міцелію та утворенням склероціїв встановили різний рівень чутливості серед 75 штамів *S. sclerotiorum* до комерціалізованого штаму *P. minitans*, незалежно від їх географічного

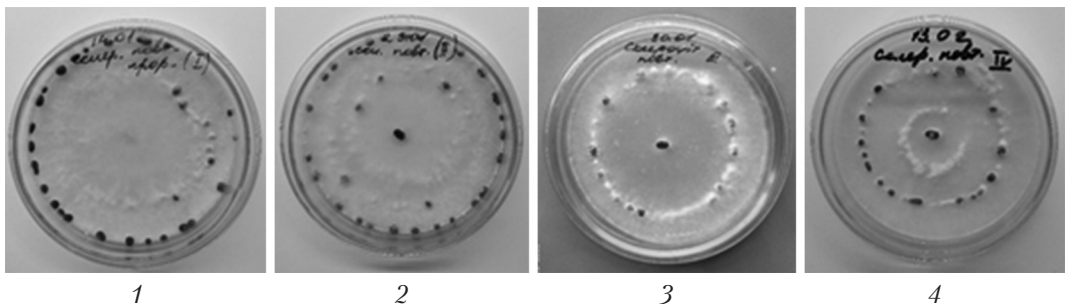


Рис. 2. Динаміка формування нових генерацій склероціїв *S. sclerotiorum* (КГА, 7-ма доба росту)

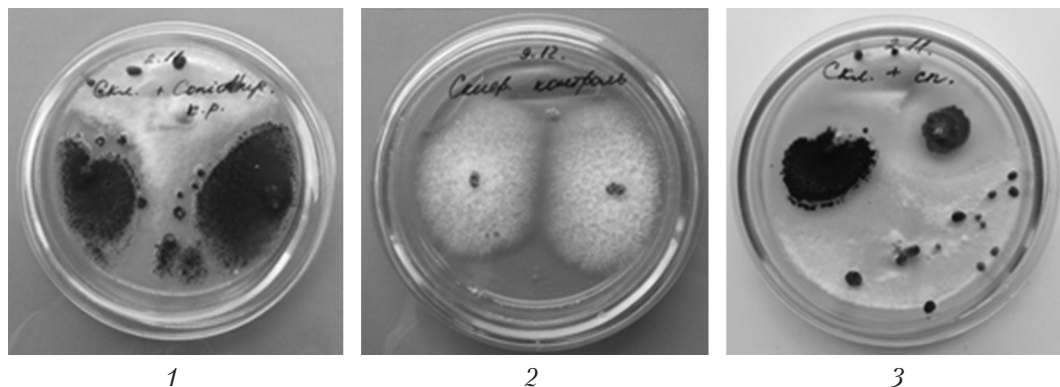


Рис. 3. Гриби, виділені із склероціїв збудника білої гнилі *S. sclerotiorum*:
1 – *Aspergillus niger*; 2 – *Fusarium* spp.; 3 – *Penicillium* spp.

походження та ґрунтово-кліматичних умов [25]. Отже, селекційний тиск може призвести до поступового збільшення частоти менш чутливих ізолятів залежно від поширення біологічного методу [25].

Наші дослідження, показали, що сумісне культивування грибів *P. minitans* IMB F-1000120 і *S. sclerotiorum* призводить до пригнічення формування нових склероціїв у збудника білої гнилі (рис. 4).

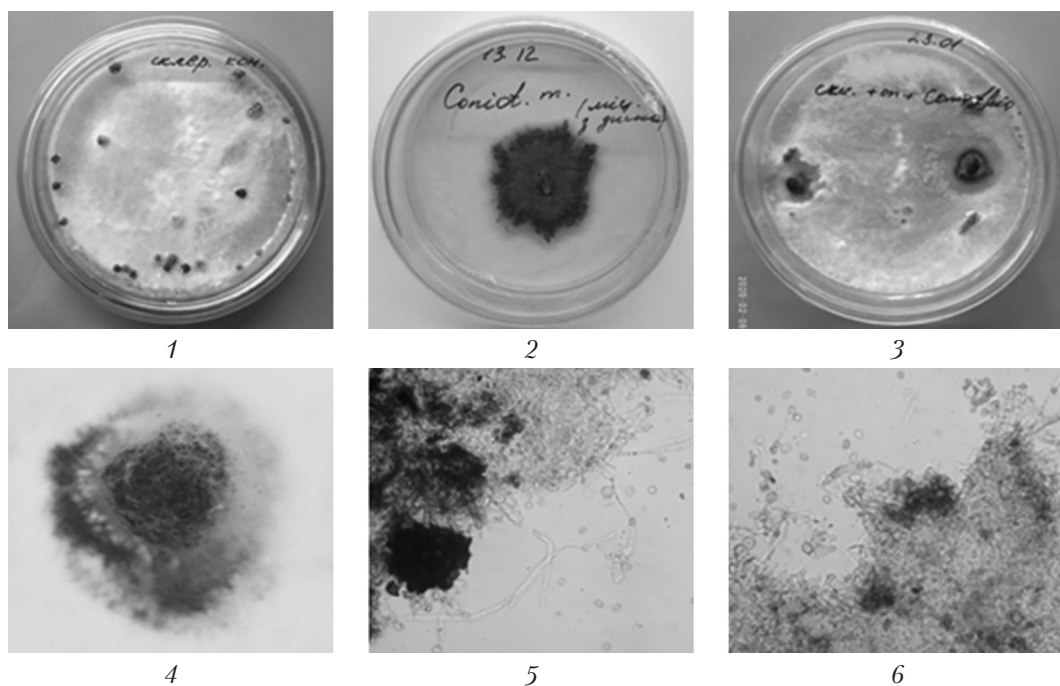


Рис. 4. Вплив культуральної рідини *P. minitans* IMB F-1000120 на проростання склероціїв *S. sclerotiorum*: 1 – контроль, склероції без обробки, 7-ма доба росту; 2 – контроль, *P. minitans* на 15-ту добу росту; 3 – склероції, оброблені к.р. *P. minitans*, 7-ма доба росту; 4 – склероцій, вкритий міцелієм *P. minitans*; 5, 6 – морфологія пікнід та пікноспор *P. minitans*, що зростає на склероціях

Вивчення антагоністичної дії *P. minitans* IMB F-1000120 щодо інших фітопатогенів. У результаті досліджень *P. minitans* IMB F-1000120 проявив низьку антифунгальну активність проти фітопатогенів *V. lateritium*, *F. culmorum*, *F. verticillioides*, *D. sorokiniana* та *A. alternata* (рис. 5). Обробка склероціїв, інфікованих грибами роду *Fusarium*, культуральною рідиною *P. minitans*, продемонструвала його слабку фунгіцидну дію. На 4-ту добу культивування як необроблених, так і оброблених склероціїв, спостерігали активний ріст колоній грибів роду *Fusarium*.

Дослідження фунгіцидних властивостей антагоністів *Trichoderma lignorum* і *T. harzianum* IMB F-100097 та бактерій

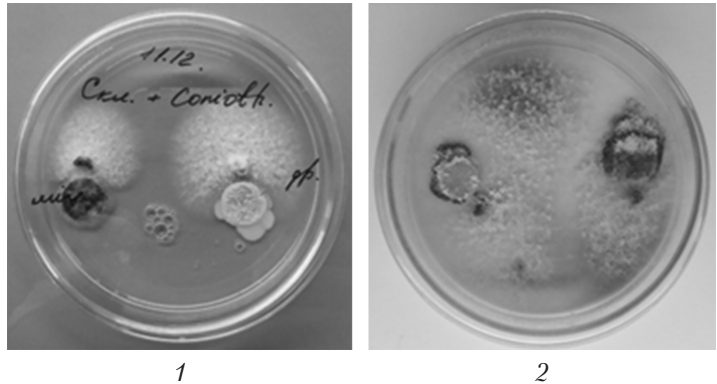


Рис. 5. Вивчення антифунгальної активності *P. minitans* щодо *Fusarium* spp., що колонізують склероції *S. sclerotiorum*: 1 – 4-та доба; 2 – 9-та доба (метод агарових блоків, КГА)

роду *Bacillus* щодо фітопатогенів. Встановлено слабку антагоністичну взаємодію між *T. lignorum* і *S. sclerotiorum*, зокрема збудник білої гнилі зафіксував інтенсивний ріст та формування склероціїв за їх сумісного культивування (рис. 6).

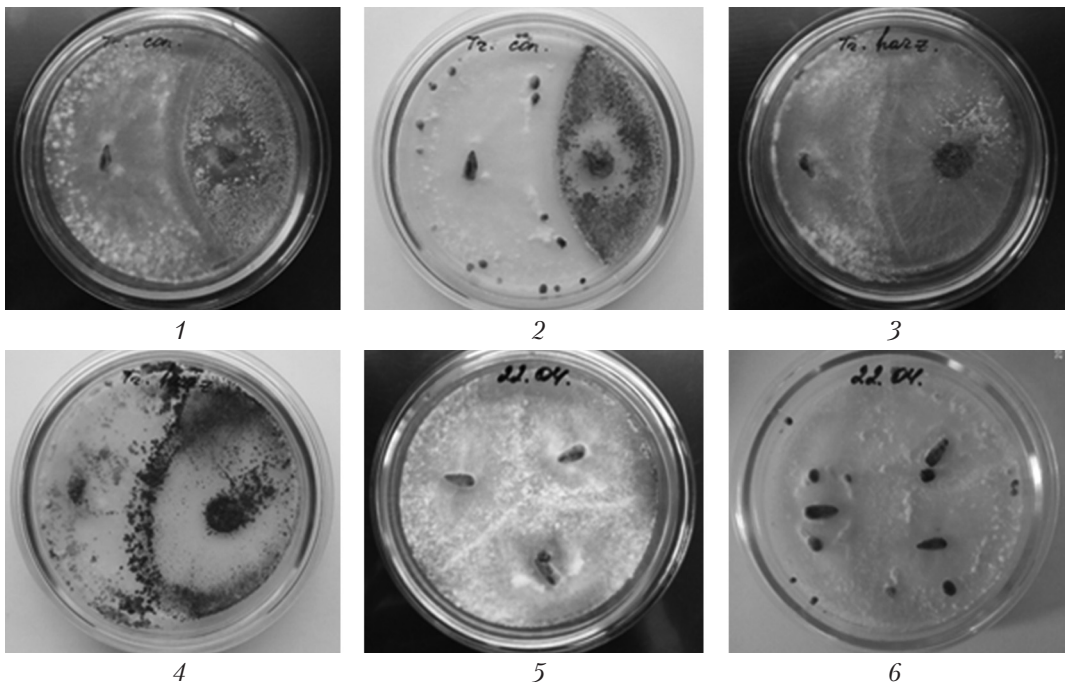


Рис. 6. Вивчення фунгіцидної дії грибів роду *Trichoderma* щодо *S. sclerotiorum*: 1, 2 – *S. sclerotiorum* та *T. lignorum*; 3, 4 – *S. sclerotiorum* та *T. harzianum* IMB F-100097; 5, 6 – *S. sclerotiorum* (контроль) (метод подвійних культур, КГА, відповідно 3-тя, 9-та доба)

Штам *T. harzianum* IMB F-100097 показав кращі фунгіцидні властивості під час сумісного культивування з *S. sclerotiorum* порівняно з *T. lignorum*, колонізуючи міцелій фітопатогена та гальмуючи його ріст.

Встановлено високу антагоністичну активність цього штаму щодо інших збудників хвороб рослин. Виявлено часткове наростання на колонії грибів *F. verticillioides* з формуванням зони інгібування та *B. cinerea* без зони затримки росту. Ріст *A. alternata*, *V. lateritium*, *D. sorokiniana*, *C. herbarum* зупинявся за безпосереднього контакту з міцелієм *T. harzianum* (рис. 7).

Сілва із співавт. (2022) за обробки склероціїв *S. sclerotiorum* суспензіями конідій штамів *Trichoderma* спостерігав сильне пригнічення міцеліогенного проростання в результаті помітної мікопаразитарної активності *T. asperelloides* СМАА 1584 [27]. Тоді як біостимулювальні ефекти на ріст

рослин бавовнику були більш вираженими з *T. lentiforme* СМАА 1585, який мав також вищу здатність розчиняти фосфати. Авторами рекомендовано використовувати ці штами *Trichoderma* в суміші для забезпечення як контролю патогенів, так і стимулювання росту рослин [27].

Отже, залежно від виду і штаму гриби роду *Trichoderma* здатні по-різному впливати на розвиток *S. sclerotiorum* та обмежувати ріст інших видів фітопатогенів, що можуть заселяти склероції в ґрунті.

У результаті проведених досліджень встановлена різна фунгіцидна дія культуральної рідини бактерій *B. subtilis* IMB B-7678 і *B. licheniformis* IMB B-7778 щодо фітопатогенів (рис. 8). Культуральна рідина *B. subtilis* IMB B-7678 незалежно від розведення продемонструвала 100% пригнічення росту *S. sclerotiorum*, тоді як *B. licheniformis* IMB B-7778 стримувала розвиток збудника білої гнилі на рівні 80%.

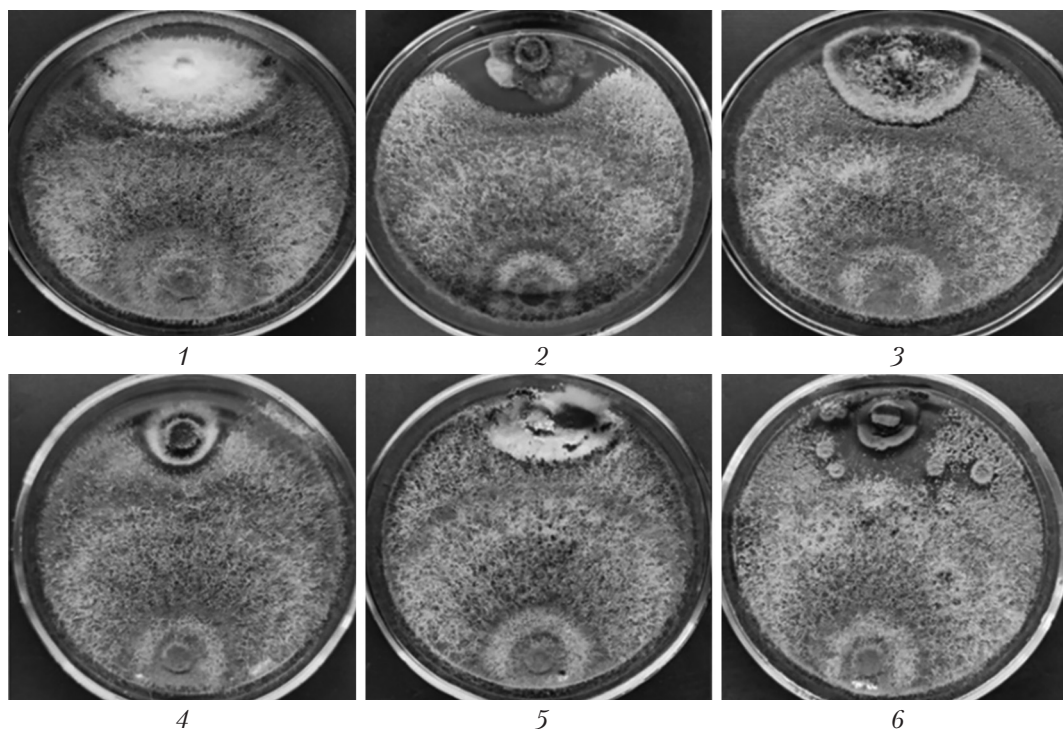


Рис. 7. Взаємодія між штамом *Trichoderma harzianum* IMB F-100097 та тест-культурами фітопатогенів: 1 – *F. verticillioides*; 2 – *D. sorokiniana*; 3 – *A. alternata*; 4 – *V. lateritium*; 5 – *B. cinerea*; 6 – *C. herbarum* (КГА, 9-та доба)

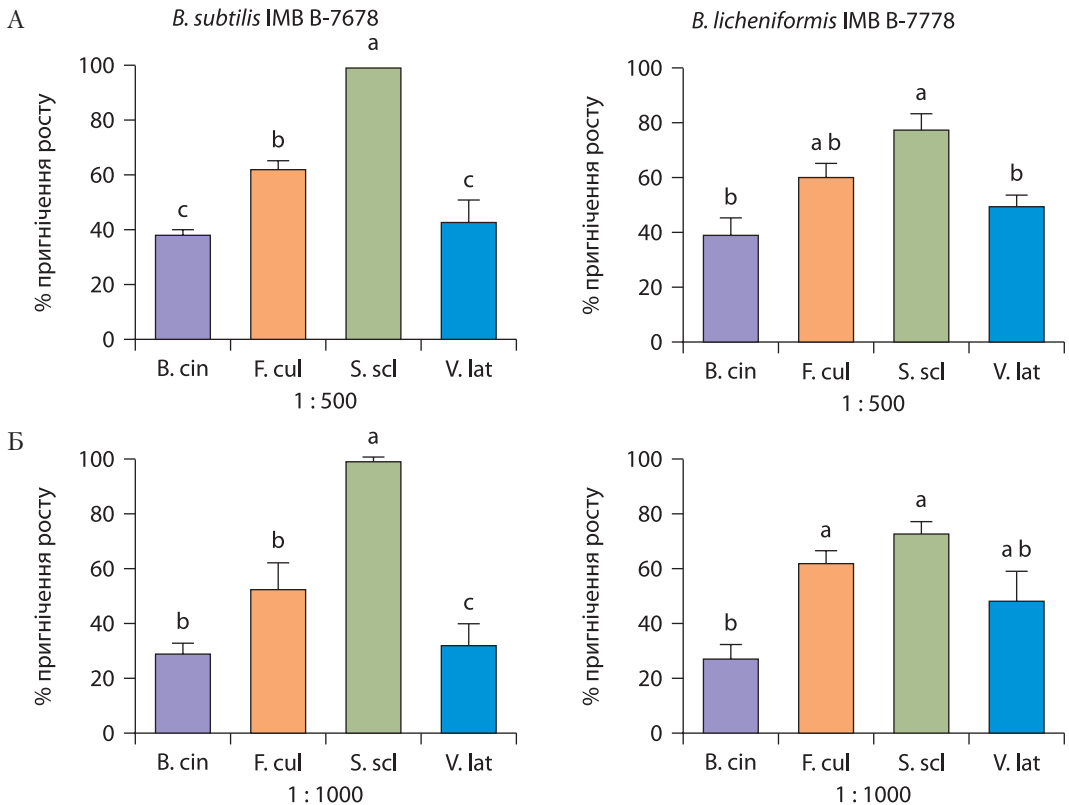


Рис. 8. Вплив культуральної рідини штамів *B. subtilis* IMB B-7678 та *B. licheniformis* IMB B-7778 на ріст фітопатогенів у розведеннях 1: 500 (Панель А) і 1:1000 (Панель Б)

Примітки: ріст вимірювали за діаметром колонії через 7 діб і представляли як % пригнічення росту відносно діаметра колонії без препарату (контроль) із стандартною помилкою середнього $\pm$ SEM ($n=3$). Літери над гістограмами вказують на статистичну значущість із використанням одностороннього аналізу ANOVA з наступним тестом множинного порівняння Tukey HSD, $P<0,05$.

Культуральна рідина обох штамів у розведенні 1:500 мала більший антифунгальний ефект на *B. cinerea*, гальмуючи його ріст на 40% порівняно із 30% отриманими за застосування 1:1000. *F. culmorum* та *V. lateritium* виявились більш чутливими до культуральної рідини *B. licheniformis* IMB B-7778 у розведенні 1:1000 порівняно з *B. subtilis* IMB B-7678.

Тому, проведені експерименти демонструють різну індивідуальну антифунгальну активність мікробних компонентів препарату Склероцид® щодо збудника білої гнилі *S. sclerotiorum* та інших фітопатогенів.

Дослідження ефективності комплексного препарату Склероцид®. Деякі роботи

вказують на антагоністичні відносини між окремими штамми за сумісного використання, що може знижувати ефективність біопрепаратів. Наприклад, певні штами *Trichoderma* здатні пригнічувати ріст окремих штамів *B. subtilis* [28]. Втім, низка досліджень показує синергічну дію підібраних штамів. Зокрема, доведено ефективність використання мікробного консорціуму, до складу якого входять *Pseudomonas aeruginosa* PJHU15, *Trichoderma harzianum* TNHU27 та *Bacillus subtilis* BHHU100, у тепличних і польових умовах для захисту гороху (*Pisum sativum*) від *S. sclerotiorum*. Ефективність цього консорціуму перевищувала дію окремих агентів або їхніх

парних комбінацій. У рослин, оброблених мікробними консорціумами, порівняно з необробленими контрольними рослинами, зараженими *S. sclerotiorum*, спостерігали зниження розвитку збудника хвороби. Крім того, мікробний комплекс забезпечив максимальне стимулювання росту рослин як у присутності, так і за відсутності патогену: спостерігалось збільшення довжини рослин, загальної біомаси, кількості листків, бульбочок і вторинних коренів, а також умісту хлорофілу, каротиноїдів і врожайності [29]. Лю зі співавт. (2022) встановили сумісність штамів *Trichoderma atroviride* SG3403 та *Bacillus subtilis* 22 за допомогою сканувальної електронної мікроскопії, яка виявила життєздатні бактеріальні клітини на поверхні гіфів гриба у спільних культурах [30]. Отриманий консорціум засвідчив виражену синергічну дію, продукуючи метаболіти з антифунгальними властивостями, здатні пригнічувати ріст *Fusarium graminearum* на рослинах пшениці. У клітинах патогена спостерігалися істотні морфологічні ушкодження: деформація клітинної стінки, руйнування цитоплазми та субклітинних органел. Окрім того, було зафіксовано значне зменшення продукції мікотоксинів дезоксиніваленолу та зеараленону. Біоагенти також активували експресію захисних генів пшениці (*PR1*, *PR3*, *PR4*, *PR5*, *ACS* та *SOD*) через сигнальні шляхи жасмонової кислоти та етилену, що сприяло формуванню індукованої системної резистентності проти фузаріозу [30]. Ву зі співавт. (2018) встановили, що антимікробний ефект комбінованого препарату, до складу якого входили *Bacillus amyloliquefaciens* ACCC11060 та

Trichoderma asperellum GDFS1009, був значно вищим порівняно з ефектом окремих штамів. Такий результат зумовлений посиленням синтезом антимікробних сполук та певних амінокислот [31]. Сумісне застосування *P. minitans* та *T. harzianum* значно пригнічувало розвиток *S. sclerotiorum* та сприяло найвищому приросту врожаю рослин салату [32]. Завдяки пластичності геномів мікроорганізмів щодо багатьох екологічних функцій і різноманітних біохімічних механізмів біологічні агенти біоконтролю позитивно впливають на ріст рослин та індукують стійкість рослин проти біотичного й абіотичного стресів [18; 27].

Під час дослідження ефективності комплексного біопрепарату Склероцид®, до складу якого входять мікробні штами *P. minitans* IMB B-1000120, *T. harzianum* F-100097, *B. subtilis* IMB B-7678 та *B. licheniformis* IMB B-7778, було встановлено його високу антагоністичну активність щодо фітопатогенів.

Наприклад, обробка склероціїв препаратом Склероцид® призвела до пригнічення проростання та розвитку міцелію *S. sclerotiorum* (рис. 9).

Біопрепарат Склероцид® продемонстрував виражену антифунгальну активність проти фітопатогенів *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium culmorum*, *F. graminearum*, *F. solani*, *F. sporotrichioides*, *F. verticillioides* та *Sclerotinia sclerotiorum* (рис. 10).

Препарат у розведенні 1:10 повністю пригнічував ріст *B. cinerea*, *F. solani* та *S. sclerotiorum*. Розведення 1:100 і 1:200 гальмували їхній ріст у межах 80–100%.

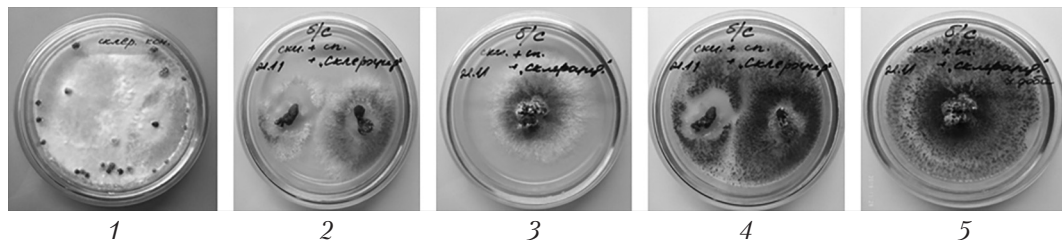


Рис. 9. Вплив обробки препаратом Склероцид® на проростання склероціїв *S. sclerotiorum*: 1 — контроль; 2, 3 — на 5-ту добу; 4, 5 — на 7-ту добу

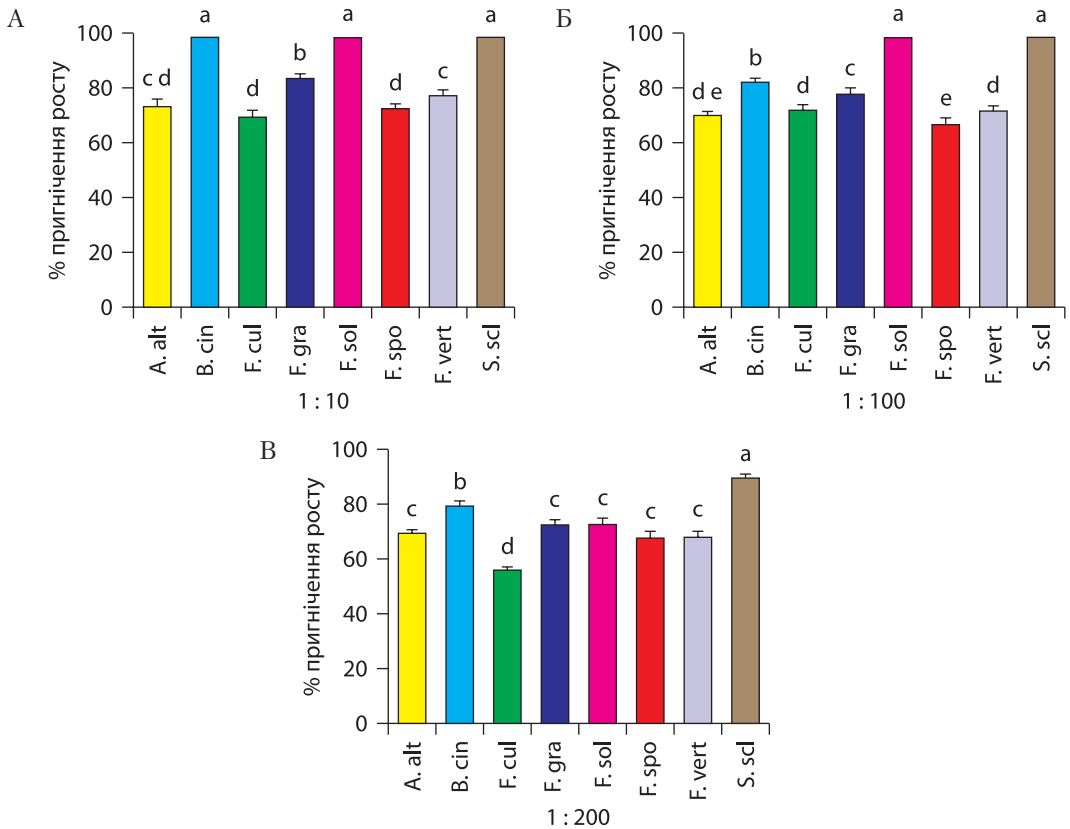


Рис. 10. Вплив біопрепарату Склероцид® на ріст фітопатогенів у розведеннях 1: 10 (А), 1: 100 (Б) і 1: 200 (В)

Примітка: ріст вимірювали за діаметром колонії через 7 діб і представляли як % пригнічення росту відносно діаметра колонії без препарату (контроль) із стандартною помилкою середнього $\pm$ SEM ($n=3$). Літери над гістограмами вказують на статистичну значущість із використанням одностороннього аналізу ANOVA з наступним тестом множинного порівняння Tukey HSD, $P<0,05$.

Загалом, усі випробувані концентрації препарату продемонстрували високу проти-грибну активність (60–80%) щодо інших досліджуваних збудників хвороб. Порівняння впливу окремих мікробних компонентів на фітопатогени з їхньою активністю в консорціумі фіксують вищу ефективність завдяки синергічній дії. Наприклад, підсилений ефект чітко спостерігається на культурах *B. cinerea* і *F. culmorum*. Культуральні рідини штабів бактерій знижували їхній ріст на 40% і 60% відповідно (див. рис. 8), тоді як під впливом комплексного препарату ріст пригнічувався на 100% і 80%, відповідно (див. рис. 10).

Синергічний ефект препарату Склероцид® можна пояснити антагоністичними властивостями штамів його мікробного складу. Відомо, що *P. minitans*, *Trichoderma* spp. та *Bacillus* spp. володіють унікальними біологічними властивостями, що дає можливість розробляти ефективні комплексні біопрепарати для контролю *S. sclerotiorum*. Зокрема, штами *Bacillus* продукують антибіотики та ліпопептиди з високою антимікробною активністю, *Trichoderma* синтезують гідролітичні ферменти, що руйнують клітинні стінки фітопатогенних грибів та паразитують на їхніх гіфах, а *P. minitans* проявляє гіперпаразитизм щодо склеро-

цій *S. sclerotiorum* і здатний розщеплювати щавлеву кислоту, яка є одним із головних чинників патогенності цього збудника.

ВИСНОВКИ

Використання мікробних консорціумів є ефективним методом біологічного захисту рослин, що підтверджено результатами наших досліджень з біофунгіцидом Склероцид®, який демонструє високу ефективність у польових умовах. Поєднання мікроорганізмів із різними властивостями та функціями забезпечує синергійний ефект у боротьбі з фітопатогенами. Штами антагоністів, що входять до складу Склероциду®,

ефективно обмежують ріст і розвиток збудників хвороб, зокрема *S. sclerotiorum* та інших фітопатогенів. Інгібуюча дія препарату істотно перевищує ефективність кожного з його компонентів у монокультури.

Отже, створення та впровадження комбінованих біопрепаратів в інтегровані системи захисту рослин дасть можливість ефективніше стримувати розвиток збудників хвороб. Це, своєю чергою, зменшить потребу в хімічних засобах захисту, як-от фунгіциди та добрива, і сприятиме виробництву більш безпечної та екологічно чистої продукції для споживачів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Tsapikounis, F., Ipsilandis, C., & Greveniotis, V. (2019). Studies on the infection and parasitism course of sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum* by three different mycoparasites. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 126(1). DOI: <https://doi.org/10.1007/s41348-019-00210-2>.
2. Pivovskiy, M. Y., Kyryk, M. M., & Borodai, V. V. (2020). Phytotoxic properties of culture filtrates of micromycete *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary isolates from the phyllosphere of various host plants. *Біологічні системи: теорія та інновації*, 11, 1, 60–68. DOI: <https://doi.org/10.31548/biologiya2020.01.060>.
3. Zhu, Y., Wu, C., Deng, Y., Yuan, W., Zhang, T., & Lu, J. (2024). Recent advances in virulence of a broad host range plant pathogen *Sclerotinia sclerotiorum*: a mini-review. *Frontiers in microbiology*, 15, 1424130. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1424130>.
4. Hossain, M. M., Sultana, F., Li, W., Tran, L. P., & Mostofa, M. G. (2023). *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary: Insights into the Pathogenomic Features of a Global Pathogen. *Cells*, 12(7), 1063. DOI: <https://doi.org/10.3390/cells12071063>.
5. Viet-Cuong, H., Pippa, M., Swift, B. & Sarita, B. (2023). Biological control of *Sclerotinia sclerotiorum*: Modes of action of biocontrol agents, soil organic amendments, and soil microbiome manipulation. *Biological Control*, 186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105346>.
6. Mao, X. W., Li, J. S., Chen, Y. L., Song, X. S., Duan, Y. B., Wang, J. X., ... Hou, Y. P. (2018). Resistance risk assessment for fluazinam in *Sclerotinia sclerotiorum*. *Pestic. Biochem. Phys.*, 144, 27–35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2017.10.010>.
7. Smolińska, U. & Kowalska, B. (2018). Biological control of the soil-borne fungal pathogen *Sclerotinia sclerotiorum* — a review. *Journal of Plant Pathology*, 100. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42161-018-0023-0>.
8. Petkova, M., & Dimova, M. (2024). Biological Control of Lettuce Drop (*Sclerotinia minor* Jagger) Using Antagonistic *Bacillus* Species. *Applied Microbiology*, 4 (3), 1283–1293. DOI: <https://doi.org/10.3390/applmicrobiol4030088>.
9. Verkley, G. J., Dukik, K., Renfurm, R., Göker, M., & Stielow, J. B. (2014). Novel genera and species of coniothyrium-like fungi in *Montagnulaceae* (Ascomycota). *Persoonia*, 32, 25–51. DOI: <https://doi.org/10.3767/003158514X679191>.
10. Xu, Y., Wu, M., Zhang, J., Li, G., & Yang, L. (2022). Cloning and molecular characterization of CmOxd3 coding for oxalate decarboxylase in the mycoparasite *Coniothyrium minitans*. *Journal of fungi*, 8(12), 1304. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof8121304>.
11. Wang, Y., Yu, H., Xu, Y., Wu, M., Zhang, J., Tsuda, K., ... Yang, L. (2023). Expression of a mycoparasite protease in plant petals suppresses the petal-mediated infection by necrotrophic pathogens. *Cell reports*, 42(11), 113290. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2023.113290>.
12. Sabaté, D. C., Brandan, C. P., Petroselli, G., Erra-Balsells, R., & Audisio, M. C. (2018). Biocontrol of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary on common bean by native lipopeptide-producer *Bacillus* strains. *Microbiological research*, 211, 21–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.04.003>.
13. Cheng, Y., Lou, H., He, H., He, X., Wang, Z., Gao, X., & Liu, J. (2024) Genomic and biological control of *Sclerotinia sclerotiorum* using an extracellular extract from *Bacillus velezensis* 20507. *Front. Microbiol.*, 15, 1385067. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1385067>.
14. Ribeiro, I. D. A., Bach, E., da Silva Moreira, F., Müller, A. R., Rangel, C. P., Wilhelm, C. M., ... Passaglia, L. M. P. (2021). Antifungal potential against *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary and plant growth promoting abilities of *Bacillus* isolates from canola (*Brassica napus* L.) roots. *Microbiological*

- research, 248, 126754. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126754>.
15. Sur, S., Romo, T. D., & Grossfield, A. (2018). Selectivity and mechanism of fengycin, an antimicrobial lipopeptide, from molecular dynamics. *J. Phys. Chem. B*, 122, 2219–2226. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.7b11889>.
 16. Cao, S., Jiang, B., Yang, G., Pan, Y., Chen, F., Gao, Z., & Dai, Y. (2023). Isolation and evaluation of *Bacillus subtilis* RSS-1 as a potential biocontrol agent against *Sclerotinia sclerotiorum* on oilseed rape. *Eur J Plant Pathol.*, 166, 9–25. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02642-x>.
 17. Ayaz, M., Ali, Q., Zhao, W., Chi, Y.-K., Ali, F., Rashid, K. A., ... Qi, R.-D. (2024). Exploring plant growth promoting traits and biocontrol potential of new isolated *Bacillus subtilis* BS-2301 strain in suppressing *Sclerotinia sclerotiorum* through various mechanisms. *Front. Plant Sci.*, 15, 1444328. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1444328>.
 18. Yang, X., Yang, J., Li, H. et al. (2020). Overexpression of the chitinase gene CmCH1 from *Coniothyrium minitans* renders enhanced resistance to *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean. *Transgenic Res*, 29, 187–198. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11248-020-00190-2>.
 19. Wang, S. Y., Zhang, Y. J., Chen, X., Shi, X. C., Herrera-Balandrano, D. D., Liu, F. Q., & Laborda, P. (2024). Biocontrol methods for the management of *Sclerotinia sclerotiorum* in legumes: A review. *Phytopathology*, 114(7), 1447–1457. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-24-0006-RVW>.
 20. Singh, A., Shukla, N., Kabadwal, B. C., Tewari, A. K., & Kumar, J. (2018). Review on plant-trichoderma-pathogen interaction. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 7, 2382–2397. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2018.702.291>.
 21. Dudka, I. A., Vasser, S. P., & Jellanskaja, I. A. (1982). *Methods of experimental mycology*. Kiev: Naukova dumka.
 22. Maheshwari, R. (Ed.) (2011). *Fungi: Experimental Methods in Biology* (2nd ed). Boca Raton: CRC Press.
 23. Ткаленко, Г. М., Борзих, О. І., & Ігнат, В. В. (2020). Сучасний стан застосування біологічних засобів захисту рослин в агроценозах України. *Вісник аграрної науки*, 12, 18–25. DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202012-03>.
 24. Кириченко, В. В., Макляк, К. М., Петренко-ва, В. П., Кучеренко, Є. Ю., Звягінцева, А. М., Харитоненко, Н. С., & Михайленко, В. О. (2020). *Соняшник. Спеціальна селекція: моногр.* (В. В. Кириченко, Ред.). Харків: Новий курс.
 25. Nicot, P. C., Avril, F., Duffaud, M., Leyronas, C., & Troulet, C. (2019). Differential susceptibility to the mycoparasite *Paraphaeosphaeria minitans* among *Sclerotinia sclerotiorum* isolates. *Tropical Plant Pathology*, 44(1), 82–93. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0256-7>. fhal-02623473f.
 26. Vizi, R., Kiss, J., Turóczy, G., Dobra, N., & Pálkás, Z. (2024). Do morphological variations in *Sclerotinia sclerotiorum* strains indicate differences in aggressiveness? *Stresses*, 4(2), 367–379. DOI: <https://doi.org/10.3390/stresses4020024>.
 27. Silva, L. G., Camargo, R. C., Mascarín, G. M., Nunes, P. S. O., Dunlap, C. & Bettiol, W. (2022). Dual functionality of *Trichoderma*: Biocontrol of *Sclerotinia sclerotiorum* and biostimulant of cotton plants. *Front. Plant Sci.*, 13, 983127. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.983127>.
 28. Пиляк, Н. В., & Нікіпелова, О. М. (2022). Визначення перспективних мікроорганізмів для створення комплексних препаратів інсекто-фунгіцидної дії. У Л. А. Янсе, О. М. Нікіпелова, В. П. Ярошевський, А. Д. Барабаш, І. С. Чернова, В. Г. Соловйова (Ред.), *Біологічний метод захисту рослин: досягнення і перспективи. ІТІ «Біотехніка» НААН. № 1.* (с. 70–73). Одеса: Видавництво НААН України. URL: <https://biotekhnika.od.ua/uk/diialnist/publikatsii/189-materialy-mizhnar-naukkonf-odesa-4-5-zhovtnia-2022-r>.
 29. Jain, A., Singh, A., Singh, S., Singh H. B. (2015b). Biological management of *Sclerotinia sclerotiorum* in pea using plant growth promoting microbial consortium. *J. Basic Microbiol*, 55, 961–972. DOI: <https://doi.org/10.1002/jobm.201400628>.
 30. Liu, H., Li, T., Li, Y., Wang, X., & Chen, J. (2022). Effects of *Trichoderma atroviride* SG3403 and *Bacillus subtilis* 22 on the Biocontrol of Wheat Head Blight. *Journal of fungi*, 8(12), 1250. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof8121250>.
 31. Wu, Q., Ni, M., Dou, K., Tang, J., Ren, J., Yu, C., & Chen, J. (2018). Co-culture of *Bacillus amyloliquefaciens* ACCC11060 and *Trichoderma asperellum* GDFS1009 enhanced pathogen-inhibition and amino acid yield. *Microbial cell factories*, 17(1), 155. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-018-1004-x>.
 32. Colak-Ates, A. (2019). Effect of *Coniothyrium minitans* and *Trichoderma harzianum* in the biological control of white mold disease (*Sclerotinia sclerotiorum*) in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Appl Ecol Enviro Res*, 17 (6), 15687–15701. DOI: https://doi.org/10.15666/aecer/1706_1568715701.

Стаття надійшла до редакції журналу 24.11.2024

ГОСПОДАРСЬКО-БІОЛОГІЧНА ОЦІНКА РІЗНИХ ГІБРИДІВ БАКЛАЖАНА ЗА ВИРОЩУВАННЯ У ВІДКРИТОМУ ҐРУНТІ

С.В. Щетина

Уманський національний університет садівництва (м. Умань, Україна)
e-mail: sv_shetina@ukr.net; ORCID: 0000-0001-8504-2944

Баклажан — овочева культура, яка широко розповсюджена в усьому світі. Україна за обсягами виробництва плодів баклажана займає шосте місце у рейтингу європейських країн та щороку виробляє 1,41 кг плодів на людину. Значний сортовий ресурс баклажана та нестійкі погодні умови визначають актуальність підбору сортів або гібридів для отримання високих урожаїв товарної продукції. З цією метою було проведено господарсько-біологічну оцінку гібридів баклажана різних строків стиглості. Встановлено відмінності як у тривалості фенофаз, так і періоду вегетації рослин баклажана та продуктивності. Найкоротший період досягання плодів фіксували у ранньостиглих гібридів Дестан, Шарапова, Лейре, Самурай і Санфір із перевагою на 1–2 доби порівняно із середньоранніми гібридами Фабіна і Нایت Леді. Загалом найкоротшу тривалість періоду плодоношення виявлено у гібридів Фабіна (66 діб) і Нایت Леді (68 діб). За біометричними показниками серед досліджуваних гібридів у фазі технічної стиглості вирізнялися рослини гібридів Шарапова, Санфір і Самурай, які мали найвищу висоту (58–59 см), діаметр стебла (14–15 см), кількість листків (52–53 шт.) та їх площу (19,0–19,9 тис. м²/га). За рівнем урожайності досліджувані гібриди баклажана ранжовано в ряд: Дестан > Нایت Леді > Лейре > Самурай > Санфір > Шарапова > Фабіна. За роки досліджень найбільшу середню врожайність отримано за вирощування гібрида Дестан (46,1 т/га) і Нایت Леді (44,3 т/га) з перевагою над контролем на 10% і 6% та приростом урожаю 4,3 т/га і 2,5 т/га відповідно. Плоди гібридів Самурай, Шарапова, Нایت Леді і Дестан характеризувались найкращими показниками якості. За результатами проведеної господарсько-біологічної оцінки гібридів баклажана різних груп стиглості визначено, що найврожайнішими з якісними показниками плодів є ранньостиглий гібрид Дестан і середньоранній гібрид Нایت Леді, які рекомендовано для вирощування в господарствах різних форм власності в умовах Правобережного Лісостепу.

Ключові слова: *Solanum melongena* L., строки досягання, врожайність, технічна стиглість, біометричні показники, якість плодів.

ВСТУП

Важливим аспектом під час вирощування овочевих культур у відкритому ґрунті, зокрема баклажана, має вибір сорту/гібрида. Правильний підбір сортового ресурсу для відповідних ґрунтово-кліматичних умов та поєднання з іншими технологічними заходами дає змогу отримати високу продуктивність та якість плодів.

Культура баклажан (*Solanum melongena* L.) має довгу історію та є однією з найважливіших овочевих культур у країнах Азії, Африці, Європі та на Близькому Сході. Завдяки значному генетичному різноманіттю нині культуру баклажан широко

вирощують у різних країнах світу, а у сільському господарстві України вона набуває дедалі більшого значення. Плоди баклажана багаті на харчові волокна, вітаміни групи В, С, калій, фосфор, а також фенольні сполуки з антиоксидантною активністю, каратиноїди та ін. Останніми роками плоди баклажана викликають великий інтерес як функціональна їжа, оскільки їх відносять до десятки овочів з антиоксидантною здатністю через високий вміст фенолів [1]. Завдяки низькій калорійності цей овоч є складовою дієтичного харчування, а також широко використовується в народній медицині для лікування багатьох захворювань [2].

Значний сортовий ресурс баклажана та нестійкі погодні умови визначають актуальність більш ретельного відбору сортів або гібридів для одержання високих урожаїв товарної продукції. Ефективне використання генетичного потенціалу гібридів можливе лише за умови проведення всебічної господарської оцінки, що дає змогу виявити найперспективніші форми для подальшого впровадження у виробництво.

Мета досліджень — провести господарсько-біологічну оцінку різних гібридів баклажана за вирощування у відкритому ґрунті в умовах Правобережного Лісостепу України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В аспекті забезпечення продовольчої та харчової безпеки дедалі частіше акцентується увага на овочах і фруктах, які характеризуються важливою складовою, що впливає на стан здоров'я людини. На думку Р. Schreinemachers з колегами [3], наразі ще недостатньо усвідомлено ні економічні переваги, ні поживні властивості овочів. Однак виробництво овочів надає економічну можливість для зменшення рівня бідності та безробіття в сільській місцевості, особливо в країнах, що розвиваються, і є ключовим компонентом стратегій диверсифікації для різних агровиробників і фермерів. Орієнтоване на ринок овочівництво не лише створює дохід для малих та середніх фермерів, а й формує їх стійкість до зовнішніх ризиків та змін клімату.

Баклажан (*Solanum melongena* L.) є агрономічно та економічно важливим безбульбовим представником родини пасльонових *Solanaceae*. За економічною значимістю він посідає п'яте місце в світі серед пасльонових культур після картоплі, помідора, перцю та тютюну [4]. Нині відзначають збільшення споживання плодів баклажана з кожним роком, яке поширилось майже в усіх частинах світу. Він входить до 10 найкращих овочів за високим умістом фенольних кислот та і антиоксидантними властивостями.

Виробництво плодів баклажана постійно зростає в світі, що пов'язано як із попитом на цей овоч, так і з удосконаленням технології вирощування та поліпшенням сортового ресурсу. Зокрема, характеризується посилення попиту на нові гібриди баклажана зі зменшеним умістом глікозидів, високою стійкістю до хвороб та привабливими товарними якостями.

За даними ФАО, нині в усьому світі вирощують близько 60 млн т культивованих баклажанів на понад 1,8 млн га [5]. Майже 90% виробництва баклажана припадає на країни Азії. Провідними країнами з вирощування баклажана є Китай (понад 60% світового виробництва), Індія, Єгипет, Іран, Індонезія та ін. [6].

В Європі основні виробники плодів баклажана зосереджено в Середземноморському регіоні — культуру активно вирощують в Італії, Іспанії, Греції та ін. країнах (табл. 1). Україна виробляє 1,41 кг плодів баклажана на людину і за обсягами виробництва займає шосте місце у рейтингу європейських країн.

Баклажан є високоврожайною овочевою культурою, яка добре пристосовується до жаркого та вологого середовища. Водночас екстремально високі або низькі температури повітря, посуха або надмірне випадання опадів можуть мати негативний вплив на розвиток і продуктивність рослин та пошкодити плоди, що зазначали у своїх працях David-Rogeat N., Shimira F. та співавт. [8–10]. Тому провідні світові виробники плодів баклажана приділяють значну увагу в розробці високоефективних технологій та інновацій у вирощуванні цієї культури, впровадженні екологічних методів.

Так, встановлено, що стрес від понижених температур погано діє на ріст рослин баклажана і є чинником зниження врожайності. Це актуально для помірного регіону, де під час ранньовесняного періоду переважають низькі температури, які негативно впливають на ріст і розвиток рослин. Доведено, що температури, нижчі за оптимальну температуру росту (22–30°C), негативно позначаються на фізіо-

Таблиця 1. 10 провідних країн Європи за обсягами виробництва плодів баклажана

Рейтинг	Країна	Виробництво, тис. т	Виробництво на 1 людину, кг	Площа, тис. га	Середня врожайність, кг/га
1	Італія	306,44	5,07	9,57	32,02
2	Іспанія	265,29	5,69	3,59	73,89
3	Румунія	95,86	4,91	4,94	19,40
4	Нідерланди	63,00	3,65	120	525,00
5	Греція	59,77	5,55	1,39	43,0
6	Україна	59,48	1,41	4,80	12,39
7	Франція	59,17	0,88	1,42	41,67
8	Албанія	35,42	12,34	1,28	27,76
9	Бельгія	14,16	1,24	30,00	472,00
10	Португалія	10,16	0,99	160,00	63,50

Примітка: сформовано за даними [7].

лого-біохімічних процесах у рослинах баклажана [10].

Втім, таким вченим, як Plazas M. [11], виявлено стійкість до посухи у цього виду, яку підтверджено на біохімічному рівні, зокрема підвищеним умістом фенольних сполук і флавоноїдів для полегшення окислювального стресу, викликаного дефіцитом води. Також Delfin E.F. [12] було встановлено, що генотипи баклажана із швидким ростом і інтенсивним розвитком коренів краще переносять водний стрес.

Оскільки рослини баклажана мають відносно тривалий період вегетації, то ця культура більше, ніж інші овочеві культури схильна до негативного впливу широкого спектра збудників хвороб, шкідників (комах, кліщів, нематод) і бур'янів [6; 13]. Попередніми нашими дослідженнями визначено широкий видовий спектр збудників хвороб і шкідників (комах, кліщів), які на території Україниносять значних збитків за вирощування баклажана у відкритому ґрунті [14; 15]. Це, своєю чергою, зумовлює необхідність підбору сортів/гібридів стійких до шкідливих видів та впровадження інтегрованих методів захисту рослин.

Зважаючи на значний вплив різних чинників (абіотичних і біотичних) на рослини баклажана за вирощування у відкритому ґрунті агропроблемним потрібні покращені сорти для сталого виробництва та адаптації до викликів зміни клімату. Загалом, програми селекції баклажана спрямовано на

розробку високоврожайних сортів, переважно гібридів, із високою якістю плодів та терміном їх зберігання, стійкістю до основних хвороб і комах-шкідників, а також із широкою адаптацією до стресу навколишнього середовища [4]. Тому господарська оцінка гібридів баклажана є ключовим етапом у визначенні найперспективніших форм для їх вирощування у господарствах різних форм власності. Врахування як агрономічних, так і товарних показників дає змогу підбору гібридів та введення їх у технології вирощування для отримання продукції, що відповідає вимогам сучасного ринку та здорового харчування.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили в умовах польового досліді навчально-виробничого відділу Уманського національного університету садівництва. Аналізували господарсько-біологічні показники гібридів баклажана різних строків стиглості: ранньостиглі (Дестан, Шарапова, Лейре, Самурай, Сапфір), середньоранні (Найт Леді, Фабіна), які включено до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Технології вирощування баклажана — загальноприйнята для зони Правобережного Лісостепу.

Тип ґрунту — чорнозем опідзолений малогумусний, рН — 5,7, вміст гумусу — 2,9–3,8%. Вміст азоту легкогідролізованих спо-

лук (за Корнфілдом) — 124,5 мг/кг ґрунту; рухомих сполук фосфору (за Чириковим) — 155 мг/кг і калію (за Чириковим) — 140 мг/кг. Площа облікової ділянки — 20 м², повторність досліду — 3-кратна.

Під час досліджень здійснювали фенологічні спостереження, біометричні вимірювання рослин, облік урожаю, біохімічні аналізи плодів баклажана, використовуючи загальноприйняті методи [16–21]. Облік врожаю проводили у міру настання технічної стиглості плодів (ВВСН 97–99) поділянкове ваговим методом. Відбирання проб рослин і плодів та підготовку їх до аналізу робили згідно з ДСТУ ISO 874-2002 [22]. Продукцію з облікової ділянки за кожного збору розділяли на товарну і нетоварну відповідно до вимог чинних стандартів [23]. Одержані в досліді експериментальні дані обробляли статистично з використанням стандартного пакета Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз результатів виявлення особливостей росту і розвитку гібридів баклажана встановлено відмінності як у тривалості фенофаз, так і загалом періоду вегетації рослин. Сортимент гібридів характеризувався різними строками досягання — від 66 до 75 діб (табл. 2).

За даними фенологічних спостережень у відкритому ґрунті найкоротша фаза цвітіння відмічена у рослин баклажана гібридів Лейре, Самурай, Шарапова і Дестан.

У інших гібридів, зокрема і контрольного, тривалість фази цвітіння була на 1–3 доби довшою.

Спостереження за тривалістю періоду росту і формування плодів досліджуваних гібридів баклажана показали, що різниця між варіантами порівняно до контролю дещо скорочується: на 2 доби — у гібрида Найт Леді, на 3 доби — у гібрида Сапфір, на 4 доби — у гібрида Самурай, на 5 діб — у гібридів Шарапова і Дестан, на 7 діб — у гібрида Лейре. У середньому залежно від гібрида період росту і формування плодів тривав від 23 до 30 діб.

Найкоротший період досягання плодів (фаза технічної стиглості) фіксували у ранньостиглих гібридів Дестан, Шарапова, Лейре, Самурай і Сапфір із перевагою на 1–2 доби порівняно із середньоранніми гібридами Фабіна і Найт Леді.

Загалом найкоротшу тривалість періоду плодоношення відмічено у контрольного гібрида Фабіна (66 діб) і гібрида Найт Леді (68 діб). На противагу, найбільший період плодоношення у роки досліджень виявили у гібридів Дестан, Шарапова і Лейре — 75 діб.

Аналізуючи комплекс біометричних показників рослин баклажана у фазі технічної стиглості плодів визначено, що рослини гібридів Шарапова, Сапфір і Самурай мали найвищу висоту (58–59 см), діаметр стебла (14–15 см), кількість листків (52–53 шт.) та їх площу (19,0–19,9 тис. м²/га) і були на рівні контролю або дещо перевищували його (на 2–7%) (табл. 3).

Таблиця 2. Тривалість фаз росту і розвитку рослин баклажана різних гібридів, діб

Гібрид	Тривалість фаз			Тривалість плодоношення
	цвітіння	ріст і формування плодів	технічна стиглість	
Фабіна (контроль)	22	30	17	66
Найт Леді	23	28	17	68
Дестан	20	25	15	75
Шарапова	20	25	15	75
Лейре	18	23	15	75
Самурай	20	26	16	70
Сапфір	21	27	16	70
НР ₀₅	1,0	1,3	0,8	3,6

Таблиця 3. Біометричні показники рослин баклажана різних гібридів у фазі технічної стиглості плодів (ВВСН 97–99)

Гібрид	Висота рослин, см	Діаметр стебла, мм	Кількість листків на рослину, шт.	Площа листків, тис. м ² /га
Фабіна (контроль)	58	14	50	18,7
Найт Леді	57	13	50	18,1
Дестан	53	11	47	17,5
Шарапова	59	15	53	19,9
Лейре	55	12	50	18,4
Самурай	58	14	52	19,0
Сапфір	59	15	53	19,7
НІР ₀₅	2,9	0,7	2,5	0,9

Інші гібриди характеризувались меншими значеннями біометричних показників рослин. Так, порівняно з контролем у рослин гібрида Дестан висота рослин була меншою на 8,6%, діаметр стебла — на 21,4, кількість листків на рослині — на 6,0% та площа листків на 1 га — на 6,4%. Рослини гібридів Найт Леді і Лейре за комплексом біометричних показників займали проміжне місце і були на рівні контролю.

Під час проведення господарсько-біологічної оцінки гібридів важливим показником є врожайність. У роки досліджень було одержано достатньо високу врожайність досліджуваних гібридів баклажана (42,4–46,1 т/га) з приростом до контролю у межах 0,6–4,3 т/га (табл. 4).

Серед усіх гібридів найурожайнішим був — Дестан із перевищенням контролю

в середньому на 4,3%. Також стабільне посилення контролю за рівнем урожайності впродовж років досліджень отримано за вирощування гібрида Найт Леді — на 2,5%. В інших — не виявлено достовірного збільшення врожайності впродовж періоду досліджень.

За рівнем урожайності гібриди баклажана ранжовано в ряд: Дестан > Найт Леді > Лейре > Самурай > Сапфір > Шарапова > Фабіна.

У структурі товарного врожаю визначали кількість плодів, їх масу, довжину та діаметр плоду. Серед досліджуваних гібридів найбільшу кількість товарних плодів формували рослини гібридів Лейре (8 шт.), Дестан (7 шт.) і Шарапова (7 шт.), а інші гібриди — були на рівні контролю (6 шт.) (див. табл. 4).

Таблиця 4. Урожайність та товарні показники плодів баклажана різних гібридів

Гібрид	Урожайність, т/га	Кількість плодів на рослину, шт.	Маса стандартного плоду, г	Довжина / діаметр плоду, см
Фабіна (контроль)	41,8	6	183,3	23 / 5
Найт Леді	44,3	6	180,8	20 / 5
Дестан	46,1	7	161,3	22 / 7
Шарапова	42,4	7	148,4	20 / 6
Лейре	43,3	8	132,6	17 / 5
Самурай	42,9	6	175,2	20 / 5
Сапфір	42,7	6	174,5	17 / 6
НІР ₀₅	2,2	0,3	8,2	1,0 / 0,3

Таблиця 5. Показники хімічного складу плодів баклажана різних гібридів

Гібрид	Суха речовина, %	Сума цукрів, %	Аскорбінова кислота, мг/100 г	Вміст нітратів, мг/кг
Фабіна (контроль)	7,8	2,87	3,0	52,6
Найт Леді	7,5	3,06	3,8	52,7
Дестан	7,2	3,43	3,4	51,8
Шарапова	7,7	3,00	3,5	52,9
Лейре	7,6	2,91	3,4	52,3
Самурай	8,3	3,71	4,1	55,2
Сапфір	7,7	3,50	3,1	53,9
НІР ₀₅	0,4	0,16	0,2	2,6

Однак за масою плоду та його розмірами жоден із досліджуваних гібридів не перевищував гібрид Фабіна, який було обрано як контроль. Загалом маса плоду залежала від їх кількості на рослині. Тобто простежувалась обернена залежність ($r=-0,97$) між кількістю плодів на одній рослині і масою стандартного плоду.

Найменшу масу плоду виявлено на рослинах гібрида Лейре (132,6 г) і Шарапова (148,4 г), що на 50,7 г (або 28%) і 34,9 г (або 19%) менша, ніж у контролі. Найбільш наближені до контролю за масою стандартного плоду були гібриди Найт Леді, Самурай і Сапфір, але різниця з контролем була не істотною.

За масою стандартного плоду гібрид Дестан посідав проміжне місце із різницею з контролем 22 г (або 12%). Однак за лінійними розмірами плоду цей гібрид був на рівні контролю.

Лінійні розміри плодів баклажана різнилися залежно від гібрида, що зумовлено генетичними особливостями. Найменша довжина плоду і його діаметр були у гібриді Лейре і Сапфір (див. *табл. 4*).

Цінність отриманого врожаю баклажана визначається вмістом поживних речовин, вітамінів, мікроелементів та залежить від вмісту шкідливих речовин, зокрема нітратів. У наших дослідках уміст нітратів у плодах баклажана різних гібридів був у межах 51,8–55,2 мг/кг та не перевищував ГДК (*табл. 5*).

За вмістом сухої речовини, цукрів і аскорбінової кислоти плоди гібрида Самурай перевищували контроль на 6%, 29 і 37%, відповідно та були найкращими порівняно з плодами інших досліджуваних гібридів.

Низьким умістом сухої речовини (7,2%) характеризувались лише плоди гібрида Дестан, а інші — були на рівні контролю.

Крім того, високим умістом цукрів у плодах баклажана із достовірним переважанням контролю були гібриди Дестан і Сапфір — 3,43% і 3,50%, відповідно, а за вмістом аскорбінової кислоти — гібриди Найт Леді (3,8 мг/100 г), Шарапова (3,5 мг/100 г), Дестан і Лейре (3,4 мг/100 г).

ВИСНОВКИ

Серед досліджуваних гібридів баклажана є форми з високим рівнем адаптації до умов вирощування в Правобережному Лісостепу України, що підтверджено високим рівнем урожайності, а також показниками якості плодів та є важливим чинником для ринку овочевих продуктів.

У результаті проведених фенологічних спостережень, аналізу комплексу біометричних показників рослин, рівня врожайності, товарних показників та господарсько-цінних ознак плодів різних гібридів баклажана визначено як найперспективніші для вирощування в умовах Правобережного Лісостепу серед ранньостиглих — гібрид Дестан, середньоранніх — гібрид Найт Леді.

ЛІТЕРАТУРА

1. Niño-Medina, G., Urias-Orona, V., Muy-Rangel, M. D., & Heredia, J. B. (2017). Structure and content of phenolics in eggplant (*Solanum melongena*) — a review. *South African Journal of Botany*, 111, 161–169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.03.016>.
2. Gürbüz, N., Uluişik, S., Frary, A., Frary, A., & Doğanlar, S. (2018). Health benefits and bioactive compounds of eggplant. *Food Chemistry*, 268, 602–610. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.093>.
3. Schreinemachers, P., Simmons, E., & Wopereis, M. C. s. (2018). Tapping the economic and nutritional power of vegetables. *Global Food Security*, 16, 36–45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.09.005>.
4. Taher, D., Solberg, S., Prohens, J., Chou, Y., Rakha, M., & Wu, T. (2017). World Vegetable Center Eggplant Collection: Origin, Composition, Seed Dissemination and Utilization in Breeding. *Front. Plant Sci*, 8, 1484. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01484>.
5. FAOSTAT Statistical Database. 2024. URL: <http://www.fao.org/faostat>.
6. Alam, I., & Salimullah, M. (2021). Genetic engineering of eggplant (*Solanum melongena* L.): Progress, Controversy and Potential. *Horticulturae*, 7(4), 78. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7040078>.
7. AtlasBig. URL: <https://www.atlasbig.com/countries-eggplant-production>.
8. David-Rogeat, N., Broadley, M. R., & Stavridou, E. (2024). Drought and heatwave affected the African eggplant differently when present in combination than individually. *Environmental and Experimental Botany*, 220, 105670. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105670>.
9. Plazas, M., Nguyen, H. T., González-Orenga, S. et al. (2019). Comparative analysis of the responses to water stress in eggplant (*Solanum melongena*) cultivars. *Plant Physiol Biochem*, 143, 72–82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.08.031>.
10. Shimura, F., & Taşkın, H. (2022). Current Progress on the Responses of Eggplant to Ultra-Low Temperatures during Production. *Horticultural Studies*, 39(2), 72–78. DOI: <https://doi.org/10.16882/hortis.1108342>.
11. Plazas, M., González-Orenga, S., Nguyen, H. T. et al. (2022). Growth and antioxidant responses triggered by water stress in wild relatives of eggplant. *Scientia Horticulturae*, 293(7), 110685. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110685>.
12. Delfin, E. F., Drobnitch, S. T., & Comas, L. H. (2021). Plant strategies for maximizing growth during water stress and subsequent recovery in *Solanum melongena* L. (eggplant). *PLoS ONE*, 16(9), e0256342. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256342>.
13. Kaniyassery, A., Thorat, S. A., Kiran, K. R., Murali, T. S., & Muthusamy, A. (2022). Fungal diseases of eggplant (*Solanum melongena* L.) and components of the disease triangle: A review. *Journal of Crop Improvement*, 37(4), 543–594. DOI: <https://doi.org/10.1080/15427528.2022.2120145>.
14. Щетина, С. В. (2023). Структура фітопатогенного комплексу агроценозу баклажана (*Solanum melongena* L.) в Правобережному Лісостепу України. *Збірник наукових праць Уманського НУС*, 103(1), 103–116. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2023-103-1-103-116>.
15. Shchetyna, S., Mostoviak, I., Fedorenko, V., Mostoviak, S., & Slobodanyk, H. (2024). Species composition of the main pests of aubergine in open soil conditions of the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons*, 27(7), 97–106. DOI: <https://doi.org/10.48077/scihor7.2024.97>.
16. Волкодав, В. В. (2001). *Методика державного сортопробування сільськогосподарських культур (картопля, овочі та баштанні культури)*. Київ.
17. Грицаєнко, З. М., Грицаєнко, А. О., & Карпенко, В. П. (2013). *Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів*. Київ: НІЧЛАВА.
18. ДСТУ 4948:2008. Фрукти, овочі та продукти їх переробки. Методи визначення вмісту нітратів. (2008). [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України.
19. ДСТУ 4954:2008. Продукти перероблення фруктів і овочів. Методи визначення цукрів. (2008). [Чинний від 2008-03-26]. Київ: Держспоживстандарт України.
20. ДСТУ 7803:2015. Продукти перероблення фруктів та овочів. Методи визначання вітаміну С. (2015). [Чинний від 2016-04-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ».
21. Лісвал, А. П., Давиденко, У. М., & Мойсеєнко, Б. М. (1994). *Агрохімія: Лабораторний практикум*. Київ: Вища школа.
22. ДСТУ ISO 874-2002. Фрукти і овочі свіжі. Відбирання проб. (2002). [Чинний від 2003-10-01] Київ: Держспоживстандарт України.
23. ДСТУ 2660–94. Баклажани свіжі. Технічні умови. (1994). [Чинний від 1995-07-01] Київ: Держстандарт України.

Стаття надійшла до редакції журналу 28.11.2024

ABSTRACT

Drebot O., Melnyk P., Dobryak D., Zinovchuk N., Palapa N. Ecological and economic management mechanisms in the branches of agroecosystems taking into account space factors. Agroecological journal. 2025. No. 1. P. 6–15.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: melnikpp@ukr.net

The important role of the developed new and the use of existing ecological and economic management mechanisms in the branches of agroecosystems, which contribute to the rational use and reproduction of natural resources, is considered. An analysis of the existing mechanisms that form the basis of a harmonious combination of principles for nature management in agroecosystems is carried out. The main principles of ecological and economic mechanisms for managing land use and protection are presented. Attention is focused on monitoring as a component of an economic mechanism that comprehensively analyzes the production sphere at the macro and micro levels of regions according to the most important indicators of ecological and economic direction. The purpose of the study is to investigate the influence of ecological and economic mechanisms on the management system in agricultural production. The publication establishes that the components of the ecological and economic management system in the sectoral structures of agroecosystems exist in an interconnected manner. Moreover, the space mechanism in the spatio-temporal dimension in the organization of management of production and economic activities requires from the business entity of various forms of ownership high flexibility, scalability, rapid and frequent change of management components in increasing the efficiency of agricultural. This will allow carrying out necessary changes in the management system, not gradual, but radical, taking into account the further improvement of the management system based on the components of the space mechanism, which will increase the ecological and economic efficiency of agricultural enterprises. However, it should be noted that the most important components of the space mechanism are the phases of the solar activity cycles. Based on the conducted research, it was concluded that to ensure effective management of agricultural production, the structure of the ecological and economic management system should be supplemented by a space mechanism that contributes to solving ecological, economic and social problems in social production.

Key words: use, harmonization, principles, problems, components, nature management.

Konishchuk V.¹, Khomiak I.², Shumyhai I.¹ Anthropogenic transformation of phytocoenoses of mesotrophic swamps of Ukrainian Polissia. Agroecological journal. 2025. No. 1. P. 16–23.

¹ *Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

² *Department of Ecology and Geography Zhytomyr Ivan Franko State University*

e-mail: khomyakivan@gmail.com

The publication is devoted to the study of the level of anthropogenic transformation of mesotrophic swamps. Wetland ecosystems are the most vulnerable ecosystems to the effects of global climate change. At the same time, they are capable of influencing a large number of natural systems to mitigate the negative consequences of climate change. Wetland ecosystems can act as mesoclimate stabilizers. However, they are under the indirect influence of human activity, such as climate change, and various direct impacts of human activity. These direct impacts can change the potential of wetland ecosystems as a climate stabilizer. That is why their study is an urgent task today. The study's materials are 78 standard geobotanical descriptions created between 2004 and 2021. Studies were conducted using classical geobotanical methods. These methods were focused on synphytoindication of ecosystem characteristics. The author's methods were used to establish indicators of natural dynamics and anthropogenic transformation. The purpose of the work is to carry out an integrated evaluation of anthropogenic transformation of mesotrophic swamps. According to the purpose, the following tasks are set: to determine the phytocenotic diversity of mesotrophic swamps; establish the value of integrated anthropogenic transformation of mesotrophic swamps; Compare the relationship between anthropogenic and nature environmental factors. The reference syntaxon of mesotrophic swamps is chosen by the *Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae*. Its phytocenotic diversity includes 2 orders, 3 unions, and 22 associations. *Caricetum nigrae* (19% описів), *Caricetum lasiocarpae* (15%), *Sphagno fallacis-Calletum palustris* (12%) are most common. According to the syphitoidindication analysis, the widest amplitude of the indicators is found in soil aeration (42% of the scale overlap), the content of available nitrogen (36%), and acidity (31%). Climatic factors have narrow amplitudes: illumination (18%), cryo-regime (17%), thermo-regime (15%), ombro-regime (14%) and continental (14%). There is a inverse linear dependence with the likelihood of approximation 0.22 between the indicators of perennial moisture and natural dynamics. Thus, the xerophytisation of Polissia, caused by climate change, will lead to the transformation of mesotrophic marshes into wet forests. The value of anthropogenic transformation ranges from oligegemerobia (4.7 points) to mesogemerobia (6.9 points). 64% of ecosystems of mesotrophic swamps are olighemerobic. They exist in a narrow range of anthropogenic factors (2.1% of the scale). This indicates their low anthropotolerance. In this regard, the territories occupied by the habitat

of mesotrophic swamps should be first and foremost involved in the objects of the nature reserve fund.

Key words: hemerobia, ecosozology, xerophytization, syntaxonomic scheme, climate change.

Raichuk L., Shvydenko I., Chobotko G. Restoration of forest ecosystems as the basis for the sustainable development of agrolandscapes in Ukrainian Polissia. *Agroecological journal*. 2025. No.1. P. 24–31.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: favor09@ukr.net

This article investigates the current state and prospects for rehabilitation of forest ecosystems as an essential element of sustainable development in radioactively contaminated agricultural landscapes of Ukrainian Polissia. Among terrestrial ecosystems, forests play a crucial role in climate regulation, water resource balancing, and biodiversity conservation. Forest ecosystems not only provide society with material resources as natural capital but also generate numerous ecosystem services. Despite their resilience, forest ecosystems have suffered significant damage from both climate change and ill-conceived anthropogenic activities, particularly in Ukrainian Polissia where coniferous species traditionally predominate. Using comprehensive data from the Global Forest Watch, European Forest Fire Information System, and Global Wildfire Information System, we analyzed the dynamics of forest cover losses in Ukraine during 2001–2023. The study identified major causes of forest ecosystem degradation in the region: logging that consistently exceeds reforestation rates, climate change and its consequences (increased temperatures, reduced humidity, epiphytotic and epizootic outbreaks, natural fires), and since 2022, Russia's full-scale military aggression. The research revealed that the largest losses of forested areas were recorded in Zhytomyr, Rivne, Kyiv, and Volyn regions, accounting for 52% of Ukraine's total forest losses. Specifically, Zhytomyr region lost 228,000 hectares of forest (compared to the country's average of 42,600 hectares). The occupation of 600,000 hectares of forests out of approximately 10.5 million hectares of the total forest fund has resulted in direct damages to the forestry sector amounting to 13.2 million UAH, not accounting for long-term consequences. However, this amount does not account for long-term negative consequences such as ecosystem degradation, illegal logging, biodiversity loss, environmental pollution, and the deterioration of forestry infrastructure. According to EFFIS data, with the beginning of the full-scale Russian aggression, the area of forests burned due to fires has significantly increased, with a peak in 2022–2023, when Ukraine ranked first in Europe in both the number of forest fires and their area. The study identified systemic problems in forest ecosystem management: imperfect state policy regarding the use of forest ecosystem services, insufficient funding for measures to address climate change consequences,

outdated material and technical base, and obsolete management strategies. It was demonstrated that the greening and modernization of the forest industry in 2021 allowed reducing forest fire areas 259-fold through the implementation of continuous remote online monitoring. The research substantiates the feasibility of clustering the forestry sector as an innovative approach to forest ecosystem restoration, which would ensure a balance of economic, social, and ecological components of regional development. As global experience confirms, the cluster approach is a reliable method for enhancing competitiveness of both regional and national economies. It has been proven that Zhytomyr, Kyiv, Rivne, and Volyn regions have the greatest potential for creating forest production clusters due to their high production efficiency. A comprehensive approach to forest ecosystem rehabilitation is proposed, which should be integrated into the general strategy for revitalizing territories affected by the Chernobyl disaster. The forest production cluster in Ukrainian Polissia should include not only production facilities but also scientific, advisory, and logistics organizations, higher education institutions, and service sector entities, ensuring a systematic approach to forest ecosystem rehabilitation. This will contribute to the implementation of the European Green Deal objectives and other European and global strategies related to green economy development and climate change impact minimization.

Key words: forest ecosystems, radioactively contaminated territories, Ukrainian Polissia, clustering, reforestation, ecosystem services, sustainable development.

Bondarenko O., Nazarchuk Yu., Fairushin E. Species of plants of botanical gardens of Ukraine according to the materials of the historical collections of the herbarium of Odesa Mechnykov National University (MSUD). *Agroecological journal*. 2025. No. 1. P. 32–42.

Odesa National Mechnykov University

e-mail: vseobovse123@gmail.com

Botanical gardens have always been the basis for a wide range of scientific research. One of the historical evidences of such experiments are herbarium specimens of plant species that were once grown on the plots of botanic gardens. The purpose of our research was to search the historical collections of the MSUD for herbarium sheets (hereinafter, herbarium sheets) with plants collected from the territories of botanical gardens of Ukraine. Historical collections are often unique; they, embodying the scientific preferences of the author, in a certain period of time, especially under the conditions of a large number of samples, are often multifunctional, providing a basis for modern scientific works as well. The materials of five historical collections of MSUD were studied. 281 herbarium sheets with 185 species and 50 forms (varieties) from 106 genera and 36 families were identified. The collector of the majority of h.s. there is Ya. Waltz (a pro-

fessor who at one time worked at the Kyiv Imperial University): 246 sheets of 221 species. Collections were made from 1860 to 1870. (since 1871, Ya. Waltz worked in Odessa). M.M. Zelenetsky was identified by the collector of 25 h.s. (21 species from 18 genera). The plants were collected in the Nikitsky Botanical Garden; mostly dated to 1909. The meeting of V.F. Parsternatska (four h.s. from the Nikita Botanical Garden, 1923); M. K. Sredinsky (three h.s. from the Nikitsky Botanical Garden, 1872); J. Schrenk (*Picea schrenkiana* Fisch. & C.A. Mey.). The number of herbarium sheets is dominated by plants from the *Poaceae* family (62 h.s.; 12 species; 7 genera; however — 38 forms and varieties); *Fabaceae* (63; 56; 23; 3); *Ranunculaceae* (17; 13; 6; 3); *Brassicaceae* (16; 16; 13; —); *Pinaceae* (13; 9; 4; 1) and others. The largest number of herbarium sheets are represented by: *Panicum miliaceum* L. (four); *Lathyrus sativus* L., *Ribes alpinum* L., *Linum usitatissimum* L., *Papaver orientale* L., *Setaria italica* (L.) P. Beauv., *Triticum vulgare* L. *v. aristatum album*, *Sequoia gigantea* (Lindl.) Torr. ex A. Gray. (three h.s. each).

Key words: cultivated plants, herbarium collections, Ukraine.

Martynenko V. Ecological assessment of the forest lands covered with forest vegetation in Drevlyansky Nature Reserve. Agroecological journal. 2025. No. 1. P. 43–47.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: martynenko.vasil@ukr.net

The article presents the results of the distribution of the territory of the forest fund of forest lands covered with forest vegetation according to the Brown-Blanke ecological and floral classification. According to the Prodromus of Vegetation of Ukraine, the territory of forest ecosystems is represented by two groups of vegetation. The first group is aquatic and marsh vegetation, which includes 1 order, 1 union and 2 associations. This vegetation is represented by the territory of a forest swamp, which in the early 60-s and 70-s of the twentieth century was subjected to reclamation, and the drained area was planted with scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and hanging birch (*Betula pendula* Roth.). The second is forest vegetation, which is represented by 5 classes, 5 orders, 5 unions and 11 associations. The largest area is occupied by the class *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939, which is represented by 1 order, 1 union and 6 associations. Among the associations of this class, the largest area is represented by the association *Dicrano — Pinetum* Preisinget Knappex Oberd. 1957, which occupies 10658.5 ha or 70.95% of the territory of forest land covered with forest vegetation. In the 2000s, 2010s, and 2020s, part of the association was subjected to pyrogenic impact with a complete or partial change in both woody and herbaceous vegetation. The *Quercetea robori — Petraeae* Br.-Bl. et Tx. ex Oberd. 1957 (association *Quercu robori-Pinetum*

Matuszkiewicz 1981), which is a slightly acidophilous floristically rich oak and pine-oak forests. The representation of all other classes is insignificant, as they are represented by single forest plots or have very small areas compared to the forest vegetation classes. A promising direction for the continuation of this article is the Brown-Blanke classification of non-forested forest lands and non-forested lands of the Reserve, as well as the creation of thematic maps of vegetation distribution, classes, orders, unions and associations, taking into account changes in vegetation on the territory.

Key words: forest typology, vegetation syntaxonomy, habitats, phytointication.

Moroz V.¹, Tymoshenko L.² Biological productivity and energy potential of pine stands in Polissia. Agroecological journal. 2025. No. 1. P. 48–55.

¹ *West Ukrainian National University*

² *Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

e-mail: vera_moroz@ukr.net

Research on the biological productivity and energy potential of pine stands in Ukrainian Polissia has strategic significance amid global climate change and increasing societal energy demands. A comprehensive analysis of 40 temporary sample plots in pine plantations aged 46–120 years revealed patterns of phytomass formation, carbon sequestration capacity, and oxygen productivity across different forest site conditions. The research employed IPCC and I.Ya. Liepa methodologies to evaluate plantation ecological functions. The investigation determined that plantations in fresh fairly fertile conditions (C2) exhibit superior bioproductivity indicators, with trees of identical morphometric parameters (24 cm diameter, 34 m height) demonstrating maximum carbon sequestration (158.8 kg) and oxygen production (341.6 kg). For establishing mathematical relationships between morphometric characteristics and phytomass of model pine trees, regression analysis using power functions was applied, which allowed the development of empirical equations for predicting plantation bioproductivity. The study identified substantial regional variations in phytomass distribution, carbon absorption, and oxygen generation, with Kyiv region showing the highest values (total phytomass — 7.2 million tons, carbon absorption — 3.6 million tons, oxygen production — 9.4 million tons). High indicators were also recorded in Zhytomyr and Rivne regions, confirming their significant contribution to the region's ecological processes. The energy potential of pine stands varies according to forest site conditions, reaching its peak (5.7 GJ) in fresh fairly fertile sites (C2), while the lowest indicator (4.2 GJ) is observed in moist infertile sites (B3). The greatest energy resources from pine forests were identified in Kyiv (128736 GJ), Zhytomyr (107280 GJ), and Rivne (89400 GJ) regions, making these regions promising for biomass utilization for energy purposes. The research analyzed

128 model pine trees distributed across various forest site conditions: fresh infertile (B2) – 35 trees; moist infertile (B3) – 31 trees; fresh fairly fertile (C2) – 37 trees; and moist fairly fertile (C3) – 25 trees. This methodology provided a representative sample for comprehensive analysis of pine plantation ecological functions. The findings emphasize the necessity for a differentiated approach to pine forest management that considers forest site condition types and regional characteristics to optimize ecological functions and energy potential within the sustainable development framework. The data obtained can enhance forest management methods, support forestry adaptation strategies for climate change, and optimize forest resource utilization. The results can serve as a foundation for improving forest inventory techniques, developing climate change adaptation strategies for forestry, and optimizing the use of forest resources in the context of sustainable development.

Key words: phytomass, carbon sequestration capacity, oxygen productivity, forest site conditions, ecological functions, regional characteristics, morphometric parameters, power equations, alternative energy, sustainable forest management.

Bondar O. Analysis of functional categories of forests in western Ukraine. Agroecological journal. 2025. No. 1. P. 56–76.

*Department of Ecology and Health,
Western Ukrainian National University
e-mail: olexandr.bondar91@gmail.com*

The article analyzes the distribution of forests in Western Ukraine according to their functional categories and administrative subordination. The research is based on forest management materials provided by the SE «Ukrderzhlisproekt» and data from the State Forest Cadastre. The total forest area in the region amounts to approximately 4.162 million hectares, of which 18.0% are forests designated for conservation, scientific, and historical-cultural purposes, 11.4% are recreational and health forests, 15.4% are protective plantations, and 55.2% are production forests. This structure indicates the multifunctional and rational use of forests. Forests designated for conservation, scientific, and historical-cultural purposes are most prevalent in Chernivtsi (32.8%), Ivano-Frankivsk (22.5%), and Zakarpattia (18.2%) regions. These forested areas are crucial for maintaining ecological balance and preserving biodiversity, especially in the Carpathian mountainous region. Recreational and health forests are most represented in Lviv (19.1%) and Zakarpattia (14.1%) regions, as well as among forests not transferred to user organizations (54.2%). These plantations play a significant role in the development of the region's tourism and health infrastructure. Protective forests in Western Ukraine are essential for preventing erosion and conserving natural resources. The largest shares of such forests are found in Zakarpattia (26.0%) and Ivano-Frankivsk (25.6%) regions. Forests under the jurisdiction of the Ministry

of Infrastructure of Ukraine and the State Agency for Water Resources of Ukraine fully perform protective functions, highlighting their ecological importance. Production forests dominate in lowland regions such as Rivne (75.1%) and Khmelnytskyi (49.1%) regions. Forests under the State Agency of Forest Resources of Ukraine are 61.8% utilized for production purposes, forming the basis for the development of the wood-working industry. In mountainous regions like Ivano-Frankivsk (40.8%) and Zakarpattia (41.7%), the share of production forests is lower, reflecting an ecologically oriented approach to forest use. The analysis results indicate prospects for rational management of forest resources in Western Ukraine, aimed at balanced development considering ecological, social, and economic factors.

Key words: forest categories, Western Ukraine, conservation forests, recreational and health forests, protective forests, production forests, forest management, multifunctional forest use, sustainable development.

Chypyliak T., Linkevych O. Variability of the anatomical structure of shoots of species of *Genera sedum* L. and *Hylotelephium* H. Ohba genera under different light levels. Agroecological journal. 2025. No. 1. P. 77–84.

*Kyryvi Rih Biological Garden
of the National Academy of Sciences of Ukraine
e-mail: chipiljak@i.ua*

Studies of species of the genera *Sedum* and *Hylotelephium* were carried out, which in the conditions of the steppe zone of Ukraine showed wide limits of plasticity and are undemanding in cultivation. The peculiarities of the anatomical structure of shoots of *Hylotelephium ewersii*, *H. spectabile*, *Sedum album*, *S. reflexum* and *S. spurium* were determined under different light levels. Plants grown in the open field with different levels of illumination were studied: the control plot – full illumination (on a sunny day, 39,000–56,500 lux), the shadow plot (on a sunny day, 2,500–3,500 lux). Studies of vegetable fabrics were carried out in late May and late September on a binocular microscope XSP-139TP (China). The studied species are united by the presence: of bark (*H. ewersii*, *S. spurium*) or cuticle; periderms; parenchymas; conducting system; core. The surface of the shoots the plants of *S. album* is covered with trichomes. The species are characterized by the presence of cells with anthocyanins, which are located in the periderm, parenchyma and around the conducting system. Plants *Sedum album* and *S. spurium* are characterized by their highest content of cells with anthocyanins, which increases at the end of the growing season. The structure of the conducting system is species-specific. In species of the genus *Hylotelephium*, it is represented by an almost continuous thin ring of xylem and a wide ring of phloem. In species of the genus *Sedum*, the xylem is formed in the form of individual rays, which surrounded by a thin phloem ring.

In the shoot of *S. album*, the conducting system is a ring of separate xylem and phloem areas. The thickness of the integumentary tissues and the size of the parenchyma, in absolute units, were larger in the sun than in the shade. On the other hand, the number of xylem bundles in *H. ewersii* in the shade was 2.4 times higher, in *S. album* and *S. reflexum* — it was not significantly different from sunny conditions. Only in shoots of plants *S. spurium* the number of xylem bundles in shadow conditions was 2 times less. When plants were grown in the shade during the seasonal development (from May to September), an increase in the size of the covering tissues in *H. ewersii* and *H. spectabile* was recorded, while in *S. album* and *S. spurium* their size decreased. The studied species are heliophilous, so such results confirm their high level of plasticity, which, in our opinion, is associated with the variety of ecological conditions in which these species are found. The peculiarities and variability of the anatomical structure of shoots indicate the presence of special mechanisms of plant survival in the conditions of insufficient illumination. The results of the research will contribute to determining the level of vitality of species in the urban landscapes of the cities of the Steppe of Ukraine, which at the regional level will allow to develop ways to increase the resistance of plants and increase phytodiversity due to new fast-growing, tolerant to anthropogenic influences species.

Key words: ornamental stonecrops, anatomy, vegetative sphere, light.

Yukhnovskiy V.¹, Khryk V.², Maliuha V.¹, Tupchii O.³, Levandovska S.², Sytnyk O.² Agrochemical properties of soils in systems of windbreaks and plantings of silvoarable agroforestry. Agroecological journal. 2025. No. 1. P. 85–96.

¹ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

² Bila Tserkva National Agrarian University

³ State Biotechnological University

e-mail: yukhnov@ukr.net

The windbreaks do not only affect the fertility of the soils of the adjacent territories, but also activate the soil-forming process in the stands themselves, which became the subject of the study. It was carried out on 6 trial plots located in pairs in classical windbreaks and windbreaks transformed into narrow linear stands of silvoarable agroforestry. Soil samples were taken in every 10 cm to a depth of 40 cm both in windbreaks and in adjacent fields at distances of 3 and 10 heights. Determination of agrochemical properties of soils was carried out in a certified laboratory using generally accepted methods in soil science. Soils in the windbreaks are in an undisturbed state, which indicates the predominance of organic matter in the soil compared to arable lands. Humus reserves in the windbreaks exceed similar indicators of arable lands by 10.7 and 3.4% at distances of 3H and 10H, respectively. A significant predominance of easily hydro-

lysable nitrogen in the upper 0–10 cm soil horizon in all windbreaks was found compared to its content in the lower horizons. A significantly lower nitrogen content was noted in the upper soil layer of transformed windbreaks compared to classical windbreaks. The greatest accumulation of phosphorus was found in the classical windbreaks in the upper 0–10 cm soil layer, where its supply was 156.80 mg/kg. In the transformed windbreaks, the phosphorus content in the upper soil layer was in all cases 11.4–14.5% lower compared to the similar indicator in the classical windbreaks. Significant accumulation of phosphorus was recorded in the arable soil layer at distances of 3 and 10 heights from the windbreaks, where its content ranged from 117.60 to 170.40 mg/kg, which is explained by the neutral acidity of the soil and its intensive cultivation. Soils under the windbreaks are characterized by an acidic reaction of the soil solution, where the pH takes on values from 4.64 to 5.50. The soil of the lower horizons of the windbreaks is characterized by lower acidity, which is a consequence of accelerated mineralization of organic matter. The acidity of transformed windbreaks soil is significantly different from the acidity of classical windbreaks soil with a trend of its decrease.

Key words: soil formation process, fertility, humus, soil acidity, nitrogen, phosphorus, potassium.

Chornobrov O. Carbon stocks in dead wood of forest stands of the Middle Dnipro (Dnieper) region (Forest-steppe of Ukraine). Agroecological journal. 2025. No 1. P. 97–104.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: oleksandr.chornobrov@ukr.net

Dead wood is an important structural component of forest ecosystems and performs a number of important ecological functions, including participation in the biological cycle of substances and energy and carbon deposition. The aim of the article is to estimate deposited carbon stocks in dead wood of forest stands of the Middle Right-bank Dnieper region (Forest-steppe of Ukraine). The study was carried out based on State forest inventory data of the part of territory of state forest enterprise with a total area of 24,558.6 ha in northern part of Cherkasy region. A larger share (58.0%) is deposited in standing compared to lying (42.0%) in total dead wood carbon stock. In forest stands where dead wood was found during forest inventory, the average carbon stock per unit area in standing deadwood was 0.9–5.2 t·ha⁻¹, the average value was 2.2 t·ha⁻¹, in fallen deadwood — 0.9–3.7 t·ha⁻¹, and 2.1 t·ha⁻¹, respectively. For most tree species, the average carbon stock deposited in standing dead wood is higher than that in fallen. In stands of the dominant tree species — Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), the average carbon stock per hectare in standing and fallen deadwood was 2.1 and 1.8 t·ha⁻¹, 2.8 and 2.6 t·ha⁻¹, respectively. In the stands of the two mentioned tree species,

82.7% of the total carbon stock deposited in standing dead wood is concentrated. The corresponding share of carbon in fallen dead wood is 76.2%. The data we obtained are important in the study of potential carbon stocks accumulated in woody detritus of forest ecosystems of the Middle Dnieper region in the context forest bioproductivity and substantiating measures to prevent climate change. Further research in this field is important for the formation of strategies for sustainable forest management in the region, taking into account the important environmental, ecological, protective and resource functions of dead wood.

Key words: standing dead wood, woody debris, forest ecosystem, ecological functions, nature management, climate change.

Pinchuk V., Podoba Yu., Tertychna O. Environmental assessment of the formation and management of effluents in livestock. *Agroecological journal*. 2025. No. 1. P. 105–116.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: 2375797@gmail.com

Livestock production enterprises are powerful consumers of water. The calculations of water use standards for various technological operations in livestock show that the average annual volume of liquid effluents from livestock farming in Ukraine over the past two years is 150 thous. t, and the problem of reliable environmental protection from wastewater pollution is relevant for all livestock farms. The relevance of the work lies in the analysis of the amount of liquid effluents in livestock farming of various areas of production in order to develop modern systems for handling liquid by-products of agricultural production and processing of agricultural products. The work assesses the current state of the volume of liquid effluents in livestock farming in Ukraine, and also studies the dynamics of changes during 1990–2021. Based on the data on the number of industrial-type livestock farms and regulatory water consumption, estimated data on water use in livestock farming and the volume of wastewater were obtained. Currently, among the livestock industries, the highest water consumption is in cattle breeding – 42%, pig breeding – 36% and poultry farming – 22%, and is associated with the following main technological operations: watering animals, washing the channels of the manure removal system from livestock premises, washing feeders and cleaning premises. Among the existing systems in Ukraine for storing farm animal manure, liquid manure currently accounts for 10.8% of the total amount of manure and is formed in pig breeding – 42% and cattle breeding – 3%, which is associated with technological animal husbandry systems. It has been established that by regions of Ukraine, the largest amount of wastewater is in Kyiv, Cherkasy and Poltava regions, which is a consequence of the concentration of large enterprises. Widespread shortcomings of modern livestock waste-

water management cause the loss of organic matter and chemical elements and create the prerequisites for local environmental risks of soil and water ecosystems pollution, as well as contribute to the emergence of social discontent among the population living near large livestock enterprises. International and national sanitary and microbiological standards for the use of livestock wastewater and livestock by-products for application to the soil have been analyzed. It has been found that European approaches to assessing the safety of wastewater for irrigation differ from Ukrainian practice in terms of sanitary microbiological characteristics and quality control methods.

Key words: agricultural production, wastewater, manure, sanitary standards, satellite monitoring.

Mudrak O.¹, Morozova T.^{2,3} Analysis of the economic and environmental feasibility of installing a biogas plant for manure processing on a farm. *Agroecological journal*. 2025. No. 1. P. 117–129.

¹ *Public Higher Educational Establishment*

«Vinnytsia Academy of Continuing Education»

² *National University of Water Management and Environmental Management*

³ *National Transport University*

e-mail: tetiana.morozova@ukr.net

The article analyzes the impact of livestock housing conditions, the chemical composition of manure, and the quality parameters of biomass on the efficiency of biogas plants (BGP). It has been established that a stall-camp system of livestock housing provides better conditions for obtaining manure biomass with high-quality characteristics, making it the most promising option for use in BGP. Optimization of biomass parameters, such as the C:N ratio, dry matter concentration, and organic matter content, has been found to enhance the profitability of biogas production. The results of the study confirm that the implementation of biogas plants allows to reduce the anthropogenic load on environmental components, improve the ecological state of the environment, increase the energy efficiency of farms and reduce the cost of the resulting products. However, high investment costs and a long payback period of the project limit their widespread use. It is recommended that farming enterprises assess the feasibility of BGP implementation, considering their specific production conditions. Further research should focus on adapting the technology for small and medium-sized farms and developing financial support mechanisms. The use of biogas plants in farming enterprises contributes to improved energy efficiency, reduced environmental impact, and enhanced economic performance. Future studies should aim at adapting BGPs to the conditions of small and medium-sized farms and developing effective financial mechanisms for their implementation. It has been demonstrated that the stall-camp system of animal husbandry provides superior quality parameters of manure biomass, enhancing its suitability for anaero-

bic digestion in biogas plants (BGP). This system enables the production of 2,777 tons more manure biomass annually compared to the stall-pasture system. Under the stall-camp system, the concentration of dry matter in manure biomass reaches 30%, which increases its profitability nearly threefold. The key parameters of anaerobic digestion under such conditions exceed those of the stall-pasture system by 1.5–2 times. Biogas production yields a solid fraction amounting to 3,686.22 tons (30% of the total biomass volume) and a liquid fraction of 1,843.11 tons (20%). Utilizing biogas for electricity generation demonstrates an overall efficiency (conversion rate) of 80–85%, with 33% of the chemical energy of biomethane converted directly into electricity. The implementation of biogas plants reduces environmental pressure and promotes energy autonomy for farms. The use of residual biomass as biofertilizer lowers costs for cultivating crops, thereby enhancing the economic efficiency of agricultural enterprises.

Key words: manure biomass, stall-camp housing, profitability, energy efficiency, environmental sustainability, anaerobic digestion.

Kobyletska M.¹, Demyanyuk O.², Korchynska O.³ Salicylate-activated changes in the drought resistance indicators of wheat plants (*Triticum aestivum* L.). Agroecological journal. 2025. No. 1. P. 130–137.

¹ Ivan Franko Lviv National University

² Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

³ Danylo Halytsky Lviv National Medical University

e-mail: kobyletskam@gmail.com

Due to global climate change, drought is one of the most widespread stress factors affecting most biological species. Enhancing the resistance of agricultural crops to this stressor can significantly increase their productivity. A comprehensive understanding of the morphological, physiological and molecular response of plants to challenges caused by various abiotic and biotic factors has become a fundamental issue of modern plant ecology, especially in the context of climate change. Salicylic acid is a biologically active compound of phenolic nature with multifunctional properties, involved in the implementation of plant resistance to biotic and abiotic stress factors. Given the relevance of studying compounds with stress-protective properties, the aim of this study was to investigate the effect of seed treatment with salicylic acid on water content, proline, free amino acids, and drought resistance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) of the Podolyanka variety under simulated drought conditions. It was found that water deficiency reduces tissue hydration in wheat organs. These changes are mitigated by salicylic acid, leading to an increase in water content by 7% in roots and 6% in shoots. According to the results of our research, the content of proline imino acid due to the effects of drought in wheat plants increased significantly at all investigated

time points: on the 7th, 9th and 12th days of growth. Resumption of watering did not cause a decrease in proline content in plant shoots. Seed treatment with salicylic acid nearly doubled the proline content in plant tissues compared to the control. Conversely, under water deficiency, an increase in the content of free amino acids in wheat organs by 20–30% was observed. Under the combined influence of salicylate and the stress factor, the content of these metabolites significantly increased, indicating the activation of plant defense mechanisms. Resumption of irrigation on the 14th day of growth of wheat plants causes a decrease in the total content of amino acids in both variants under optimal and insufficient moisture supply, that is, these data are close to the control. The assessment of drought resistance based on statolith starch content indicates low drought tolerance in the studied wheat variety Podolyanka. This effect of accumulation of starch hydrolysis products under drought stress conditions is a sign of low to moderate drought tolerance. Under the same conditions, a high content of starch in the cells was observed in plants that were pretreated with a salicylic acid solution. So salicylic acid treatment enhanced the drought resistance of plants. Thus, salicylic acid can be considered a compound that positively affects wheat metabolism by promoting the accumulation of stress-protective compounds such as proline and free amino acids. Additionally, this compound improves tissue hydration and increases plant drought resistance. The research results suggest that salicylic acid can be recommended as a compound that enhances plant resistance to water deficiency.

Key words: *Triticum aestivum* L., water deficiency, salicylic acid, stress factors, resistance, proline, free amino acids.

Bunas A., Sherstoboeva O., Kryzhanivskiy A. Environmental aspects of *Bacillus thuringiensis* use for protection of apple trees against phytophages. Agroecological journal. 2025. No. 1. P. 138–145.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: bio-206316@ukr.net

All components of ecosystems, including the resulting agricultural products, are in close interaction and through a number of trophic chains, both indirect and direct, affect human health and the quality of life. One of the universal and most accessible dietary products for people is apples. It is in the fruits of the apple tree that you can find the daily content of vitamins C – 14%, K – 2–4%, potassium – 5%, as well as Cu, Mn, vitamins A, E, B₁, B₂ and B₆. Apples are a source of pectin, quercetin, flavonoids, anthocyanins, minerals and vitamins. However, agricultural producers are forced to use pesticides at least six times during the growing season of apple trees to prevent diseases and pests. Annual losses from diseases and phytophagous insects range from 30 to 70%. Accordingly, the search for environmentally safe means of protection, namely

bioinsecticides and biofungicides, is gaining more and more popularity in agricultural production. Since these tools have undeniable advantages in terms of impact on ecosystems, reduce the occurrence of resistant pathogens and pests, increase the quantitative and qualitative indicators of the harvest. The purpose of the study is to determine the effect of entomocidal strains of *Bacillus thuringiensis* on the physiological parameters of apple trees, yield and quality of fruits. It was established that the biocontrol of phytophagous insects in an apple orchard provided an average yield of 12.68–18.05 t/ha. The highest yield was obtained by treating plants with preparations based on *B. thuringiensis* strains 0408 and 0376. It was found that the studied bioinsecticides based on *B. thuringiensis* strains 0376, 0408, 787 had no significant effect on the balance of sugars and organic acids in fruits. The obtained results indicate that the liquid protective biopreparations based on *B. thuringiensis* strains applied to apple leaves don't cause a stressful state of the plant, but on the contrary, have a moderate stimulating effect on the enzymatic activity of the leaves, which indicates strengthening of phytoimmunity and resistance to other stress factors. We note that the treatment of apple trees with a preparation based on *B. thuringiensis* 0408 contributed to obtaining fruits with an increased concentration of vitamin C, which is due to the absence of a significant stress effect on the physiological state of the apple tree.

Key words: bioinsecticides, vitamin C, product quality, yield, enzymatic activity, sugar index, insect pests.

Dvoretzkyi V. Influence of organomineral fertilizer Diamond Grow of HUMI [K] BIO + «PLUS» brand on yield and quality of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). Agroecological journal. 2025. No. 1. P. 146–151.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: dvchim@ukr.net

Global climate changes affect all components of the biosphere and make adjustments to life and agricultural production. It is precisely because of changes in weather conditions (increased average monthly temperatures in the winter-summer periods, decreased precipitation levels) that the periods of the ontogenesis phases of plants and insects are disrupted, the course and activity of microbiological processes in the soil, including the destruction of organic residues, and persistent phytopathogenic complexes of microorganisms and phytophages accumulate in the soil. It is believed that one of the most effective methods of combating phytopathogenic microorganisms of agroecosystems that cause a complex of root rots in cereal crops is the use of biological products. The use of biological products allows obtaining healthy and resistant plants to the influence of adverse factors, forming a microbiocenosis in the rhizosphere of plants from agronomically beneficial microorga-

nisms. The latter have a high level of competition and antagonistic properties towards phytopathogens. At the experimental field of the Skyvra Research Station of the Institute of Agroecology and Environmental Management of the NAAS, field studies were conducted in 2024 to determine the effect of the organic-mineral fertilizer of the Diamond grow of HUMI [K] BIO+«PLUS» brand on the yield and quality of spring wheat. A feature of OMD DG H[K] B+«PLUS» is its composition, which combines macro and microelements, humic acids, algae extract, and a complex of 16 strains of microorganisms. Among the bioagents of this fertilizer are the bacteria *B. licheniformis*, *B. megaterium*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. pumilus*; micromycetes *Glomus intraradices*, *G. mosseae*, *G. aggregatum*, *G. etunicatum*, *Rhizopogon villosulus*, *R. luteolus*, *R. amylopogon*, *R. fulvigleba*, *Pisolithus tinctorius*, *Sclerotinia cepa*, *S. citrinum*. The study was conducted on spring wheat of the Tokata variety. The effect of OMD DG H[K]B+ «PLUS» on wheat plants was determined by pre-sowing treatment of wheat seeds, treatment of vegetative plants, and a combination of treatment of seeds and vegetative plants. Biometric indicators of plants (plant height, leaf surface area), photosynthetic potential of spring wheat, and its yield were determined by generally accepted methods. It was established that the most effective is pre-sowing seed treatment in combination with treatment during the growing season. It was found that this type of application contributes to an increase in plant height by 3.2%, leaf surface area by 19%, chlorophyll content by 11.7%, relative to the control. The yield of spring wheat was recorded at 3.7–3.84 t/ha, which is 0.18–0.34 t/ha higher than the yield of the control variant, an increase in protein content by 2.7–3.3% and gluten content by 3–5.6%.

Key words: biological products, photosynthetic potential, chlorophyll, leaf surface area, microorganisms, gluten, protein, yield.

Sasina T. Effect of biologically modified mineral fertilizers on potato yield (*Solanum tuberosum*) and tuber quality. Agroecological journal. 2025. No. 1. P. 152–158.

Institute of Agricultural Microbiology and Agroindustrial Manufacture of NAAS

e-mail: taniateri5@gmail.com

Using microbial preparations in crop cultivation technologies is gaining popularity. At the same time, for agricultural producers, the method of their use remains a deterrent to the introduction of microbial preparations into practice. Most often, this is seed treatment, which is not always acceptable, since it creates an additional technological procedure. Recently, data have appeared in the literature on the possibility of successfully combining agronomically valuable microorganisms with mineral fertilizers. The aim of the work is to study the effectiveness of such a combination in growing potatoes. The research was conducted in 2023–2024 in a small-plot field experi-

ment growing *Bellarosa* potatoes. The potato harvest was recorded by direct weighing in separate plots. The total yield of the crop and the mass of marketable tubers were determined. To study the quality of the products obtained in field experiments, the content of nitrates and starch in potato tubers was determined. Accounting for the total potato yield in 2023–2024 under the influence of biologically modified azofoska indicates the positive effect of fertilizer enriched with *Bacillus cereus* 3/7 – an increase in indicators by 28.7% in 2023 and by 30.1% in 2024 was noted. A significant increase in yield was also noted in the variant with *B. amyloliquefaciens* B-22 (21.9% in 2023 and 24.7% in 2024). When using *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13, the yield increase was observed to the smallest extent – 8% and 14.9% in 2023–2024, respectively. Regarding the marketability of tubers, in 2023, the increase in the mass of marketable tubers using enriched fertilizer is noticeably higher when compared to the overall crop yield indicators. However, in 2024, the percentage of increase in the mass of marketable potato tubers in the enrichment variants, although significant, was lower than the total yield. When determining the starch content in potato tubers, a significant increase in indicators was observed only in the variant with enrichment of azofoska *B. amyloliquefaciens* B-22. At the same time, the nitrate content decreased when using all bacterial strains used in the experiment. The conducted research indicates the prospects for the use of biologically modified mineral fertilizers in potato cultivation. In the future, it is necessary to determine the mechanisms of action of fertilizers enriched with microorganisms on plant development. The development of research in this direction may have significant prospects.

Key words: *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus cereus*, agronomically beneficial bacteria, PGPB, biomineral.

Matusievych H., Mazur S., Horgan T., Beznosko I. Efficacy of fungicidal control of phytopathogenic micromycetes on sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds. Agroecological journal. 2025. № 1. P. 159–168.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: matusievichgalina1971@gmail.com

The necessity to enhance the yield and quality of agricultural crop seeds under intensifying production conditions dictates the need to explore innovative phytosanitary control methods. These methods should involve the ecologically justified application of modern agrochemicals and biological products. *Helianthus annuus* L., as one of the world's leading oilseed crops, holds strategic significance in Ukraine's agricultural sector. The country remains the global leader in sunflower oil exports, accounting for 32% of the global market in the 2023/24 season (according to USDA data). This study evaluates the comprehensive effects of a combination of treatments, including a contact fungicide based on cuprous oxide (Nordox

75 WG), a micronutrient fertilizer with fungicidal properties (Verno FG Zn30 + Cu30), and a biological growth regulator (Mira RC), on the phytosanitary status of sunflower crops, seed quality parameters, and yield levels. The application of these agents significantly reduced infection rates by dominant phytopathogens: *Alternaria helianthin* – by 90% (from 75% to 7%), *Alternaria alternata* – by 81% (from 80% to 15%), and *Phomopsis helianthin* – by 60% (from 50% to 20%). However, the reduction in the occurrence of *P. helianthi* and *S. sclerotiorum* to 20% ($p < 0.001$) indicates the effectiveness of these treatments in suppressing the spread of these micromycetes within sunflower agrocenoses, although their impact remains insufficient for complete control of infectious structures in the crops. It was established that treatment with these agents had a positive effect on seed quality. The moisture content decreased to 7.6–8.0% compared to the control (9.2%), while the oil content increased to 52.0–52.6% (control–48.6%). The acid value decreased to 3.5–4.1 mg KOH/g (control–5.2 mg KOH/g), and the test weight increased to 434–445 g/L (control – 392 g/L). Yield in Variant II reached 3.98 t/ha, exceeding the control by 17.4% (3.39 t/ha). Thus, the integrated application of the aforementioned treatments demonstrates high efficacy in phytopathogen control while contributing to improved seed quality and sunflower yield. However, to ensure their sustainable use, it is necessary to develop strategies aimed at minimizing risks of microbiome imbalance and enhancing the ecological safety of agricultural technologies.

Key words: oilseed crops, fungicides, growth regulators, micronutrients, phytopathogens, infection pressure, occurrence frequency, infection rate, yield, oil content, seed quality.

Bolokhovska V.¹, Nagorna O.¹, Voloshchuk N.^{1,2}, Bolokhovskiy V.¹, Sterlikova O.¹, Khomenko T.¹, Borodai V.^{1,3,4} Efficiency of applying Sclerotyid complex preparation and its microbial components against the causative agent of white rot *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. Agroecological journal. 2025. № 1. P. 169–181.

¹ Biotechnology company «BTU»

³ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

⁴ Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: veraboro@gmail.com

In recent years, much more attention has been paid to the development of complex biological products, the components of which lead to synergistic activity in the suppression of phytopathogenic microorganisms. Synergistic activity does not occur with all components of microbial consortia, but depends on the interaction of individual species, the potential of which needs to be investigated. The use of biological products based on a consortium of microorganisms that inhibit the development, formation of sclerotia, apo-

thecia with ascospores of white rot pathogen *Sclerotinia sclerotiorum*, and various soil microbes, induce plant resistance, will help reduce the use of fungicides and have a prolonged effect on reducing pesticide load in crop agrocenoses. The effectiveness of biocontrol of white rot pathogen *Paraphaeosphaeria minitans* (syn. *Coniothyrium minitans* Campbell), *Trichoderma* spp. and *Bacillus* spp. as a part of a consortium and separately by producer strains, as well as peculiarities of synergistic interaction, has not been sufficiently studied. Therefore, research in this area is an extremely important task. The aim of the study was to investigate the nature of mycelial growth and features of sclerotia formation of *Sclerotinia sclerotiorum* phytopathogen on different nutrient media, the effectiveness of Sclerotcyd® complex biological product (BTU Biotech company, Ukraine) and its microbial components against white rot pathogen. To study antifungal effect on the growth and development of mycelium and sclerotia of *S. sclerotiorum*, on *Fusarium verticillioides*, *F. graminearum*, *F. sporotrichioides*, *F. culmorum*, *F. solani*, *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea*, *Drechslera sorokiniana*, *Verticillium lateritium*, *Cladosporium herbarum* of culture fluids of components and Sclerotcyd® complex biological product were tested using the methods of double cultures, diffusion into agar (well method) and modified agar block method. High antifungal effect of Sclerocid® multicomponent biological product and its components *C. minitans* IMB F-100120, *Trichoderma harzianum* IMB F-100097, *B. subtilis* IMB B-7678 and *B. licheniformis* IMB B-7778, which have different mechanisms of action, inhibit the development of sclerotia and the growth of *S. sclerotiorum* mycelium to a high degree, and have a prolonged effect on the containment of soil pathogens. Inhibitory effect of Sclerocid® was 91.2–100% against *S. sclerotiorum* (compared to the control), *F. sporotrichioides* – 69.1–72.8%, *F. graminearum* – 73.4–83.4%, *F. solani* – 74.2–100%, *F. culmorum* – 57.2–71.5%, *F. verticillioides* – 69.1–78.6%, *A. alternata* – 69.3–74.4%, *B. cinerea* – 80.4–100%. In further studies, it is planned to investigate the mechanisms of action of Sclerotcyd® components against pathogens. The strains of microorganisms that make up Sclerotcyd® are effective in limiting the growth and development of pathogens, in particular white rot of *S. sclerotiorum* and other soil pathogens, so their combined use leads to increased biocontrol in an integrated plant protection system, which will help minimize the use of synthetic fertilizers and fungicides against *S. sclerotiorum*.

Key words: biofungicides based on a consortium of microorganisms, phytopathogenic micromycetes, antifungal effect.

Shchetyna S. Economic and biological evaluation of various eggplant hybrids when cultivating in open soil. Agroecological journal. 2025. No. 1. P. 182–188.

Uman National University of Horticulture

e-mail: sv_shetina@ukr.net

Eggplant is a vegetable crop that is widely cultivated around the world. Ukraine ranks sixth among European countries in terms of eggplant fruit production and produces 1.41 kg of fruit per person annually. Significant varietal diversity of eggplant and unstable weather conditions highlight the importance of selecting varieties or hybrids to achieve high yields of marketable products. For this purpose, an agro-biological evaluation of eggplant hybrids of different ripening periods was conducted. Differences were found both in the duration of phenophases and the vegetation period of eggplant plants, as well as in productivity. The shortest fruit ripening period was recorded in early-maturing hybrids Destan, Sharapova, Leire, Samurai, and Sapphire, which were 1–2 days earlier compared to medium-early hybrids Fabina and Night Lady. Overall, the shortest fruiting period was observed in hybrids Fabina (66 days) and Night Lady (68 days). Based on biometric indicators, Sharapova, Sapphire, and Samurai hybrids stood out during the technical ripeness phase, with the tallest plants (58–59 cm), the largest stem diameter (14–15 cm), the highest number of leaves (52–53 leaves), and the largest leaf area (19.0–19.9 thousand m²/ha). In terms of yield, the studied eggplant hybrids were ranked as follows: Destan > Night Lady > Leire > Samurai > Sapphire > Sharapova > Fabina. Over the years of research, the highest average yields were obtained with the cultivation of the Destan hybrid (46.1 t/ha) and the Night Lady hybrid (44.3 t/ha), exceeding the control by 10% and 6%, respectively, with yield increases of 4.3 t/ha and 2.5 t/ha. The fruits of Samurai, Sharapova, Night Lady, and Destan hybrids were characterized by the best quality indicators. Based on agro-biological evaluation of eggplant hybrids of different ripening groups, it was determined that the most productive hybrids with high-quality fruits are early-maturing Destan and medium-early Night Lady hybrids, recommended for cultivation in farms of various ownership forms under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe region.

Key words: *Solanum melongena* L., ripening periods, yield, technical maturity, biometric indicators, fruit quality.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

БЕЗНОСКО Ірина Володимирівна, кандидат біологічних наук, старший дослідник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: beznoscoirina@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2217-5165>)

БОЛОХОВСЬКА Валентина Антонівна, кандидат технічних наук, біотехнологічна компанія «BTU», с. Софіївська Борщагівка, Бучанський р-н, Київська обл., Україна (e-mail: valent2006@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2728-4589>)

БОЛОХОВСЬКИЙ Владислав Вікторович, кандидат сільськогосподарських наук, біотехнологічна компанія «BTU», с. Софіївська Борщагівка, Бучанський р-н, Київська обл., Україна (e-mail: vlad@btu-center.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0074-6362>)

БОНДАР Олександр Богданович, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль, Україна (e-mail: oleksandr.bondar91@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3448-8943>)

БОНДАРЕНКО Олена Юрійвна, кандидат біологічних наук, доцент, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, м. Одеса, Україна (e-mail: vseobovse123@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2383-6615>)

БОРОДАЙ Віра Віталіївна, доктор сільськогосподарських наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна (e-mail: veraboro@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8787-8646>)

БУНАС Альона Анатоліївна, кандидат біологічних наук, старший дослідник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: bio-206316@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4806-7004>)

ВОЛОШУК Наталія Михайлівна, кандидат біологічних наук, біотехнологічна компанія «BTU», с. Софіївська Борщагівка, Бучанський р-н, Київська обл., Україна (e-mail: voloshchuk_m_natalia@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9852-734X>)

ГОРГАН Тетяна Михайлівна, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: tanja.micaela@gmail.com;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8980-7895>)

ДВОРЕЦЬКИЙ Володимир Володимирович, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: dvchim@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8427-7813>)

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

ДОБРЯК Дмитро Семенович, доктор економічних наук, професор, член-кореспондент НААН, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: dobraykds@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7745-6932>)

ДРЕБОТ Оксана Іванівна, доктор економічних наук, професор, академік НААН, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: drebot_oksana@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2681-1074>)

ЗІНОВЧУК Наталія Василівна, доктор економічних наук, професор, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: nvzstill37@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3221-8173>)

КОБИЛЕЦЬКА Мирослава Степанівна, кандидат біологічних наук, доцент, Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів, Україна (e-mail: myroslava.kobyletska@lnu.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4457-3658>)

КОНІЩУК Василь Васильович, доктор біологічних наук, професор, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: konishchuk_vasy@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4115-5642>)

КОРЧИНСЬКА Олена Степанівна, кандидат біологічних наук, доцент, Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, м. Львів, Україна (e-mail: olenakorchinska@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4716-1142>)

КРИЖАНІВСЬКИЙ Андрій Богданович, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Інститут прикладної біотех-

нології БТУ-Центр, м. Київ, Україна (e-mail: Andrew.506@ukr.net)

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>)

ЛІНКЕВИЧ Олена Олександрівна, Криворізький біологічний сад НАН України, м. Кривий Ріг, Україна (e-mail: alonalinkevich@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1180-7534>)

МАЛЮГА Володимир Миколайович, доктор сільськогосподарських наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна (e-mail: maliuha@nubip.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9786-0239>)

МАЗУР Світлана Олександрівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: mazurlanalana@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5025-0134>)

МАРТИНЕНКО Василь Валентинович, доктор філософії (екологія), Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: martinenko.vasil@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2526-6732>)

МАТУСЕВИЧ Галина Дмитрівна, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: matusevichgalina1971@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8980-7895>)

МЕЛЬНИК Петро Павлович, доктор економічних наук, старший науковий співробітник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: melnikpp@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6083-677X>)

МОРОЗ Віра Василівна, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль, Україна (e-mail: vera_moroz@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1258-1530>)

МОРОЗОВА Тетяна Василівна, кандидат біологічних наук, доцент, Національний університет водного господарства і природокористування, м. Рівне, Україна (e-mail: tetiana.morozova@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4836-1035>)

МУДРАК Олександр Васильович, доктор сільськогосподарських наук, професор, КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти», м. Вінниця, Україна (e-mail: ov_mudrak@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1776-6120>)

НАЗАРЧУК Юлія Сергіївна, кандидат біологічних наук, доцент, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, м. Одеса, Україна (e-mail: bio_july@hotmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7046-958X>)

НАГОРНА Ольга Володимирівна, біотехнологічна компанія «BTU», м. Ладижин, Вінницька обл., Україна (e-mail: olganova2008@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6628-9383>)

ПАЛАПА Надія Василівна, доктор сільськогосподарських наук, професор, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: palapa60@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3748-6414>)

ПІНЧУК Валерій Олександрович, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: pinchuk_vo@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0646-1580>)

ПОДОБА Юрій Васильович, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: 2375797@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1000-7946>)

РАЙЧУК Людмила Анатоліївна, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: edelvice@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2552-4578>)

САСІНА Тетяна Сергіївна, Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН, м. Чернігів, Україна (e-mail: taniateri5@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4021-9202>)

СИТНИК Олександр Сергійович, кандидат сільськогосподарських наук, асистент, Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Київська обл., Україна (e-mail: sytnykoleksandr24@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2637-1849>)

СТЕРЛКОВА Оксана Миколаївна, кандидат біологічних наук, біотехнологічна компанія «BTU», с. Софіївська Борщагівка, Бучанський р-н, Київська обл., Україна (e-mail: chmiloksana@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1952-7844>)

ТЕРТИЧНА Ольга Василівна, доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: olyater@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9514-2858>)

ТИМОШЕНКО Людмила Михайлівна, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: pion060917@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4648-8307>)

ТУПЧІЙ Ольга Миколаївна, Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна (e-mail: olgatupnikola@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0545-1877>)

ФАЙРУШИН Євгеній Дімович, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, м. Одеса, Україна (e-mail: fairushinev94@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1744-6569>)

ХОМЕНКО Тетяна Олексіївна, біотехнологічна компанія «BTU», с. Софіївська Борщагівка, Бучанський р-н, Київська обл., Україна (e-mail: volyata@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4095-3706>)

ХОМ'ЯК Іван Владиславович, кандидат біологічних наук, доцент, Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир, Україна (e-mail: khomyakivan@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0080-0019>)

ХРИК Василь Михайлович, доктор педагогічних наук, професор, Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Київська обл., Україна (e-mail: hvm2020@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1912-3476>)

ЧИПИЛЯК Тетяна Федорівна, кандидат біологічних наук, Криворізький біологічний сад НАН України, м. Кривий Ріг, Україна (e-mail: chipiljak@i.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2193-5350>)

ЧОБОТЬКО Григорій Михайлович, доктор біологічних наук, професор, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: chobotko@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8228-4331>)

ЧОРНОБРОВ Олександр Юрійович, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: oleksandr.chornobrov@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8251-1573>)

ШВИДЕНКО Ірина Костянтинівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: favor09@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6135-8968>)

ШЕРСТОБОЄВА Олена Володимирівна, доктор біологічних наук, професор, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: ovsher@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8239-0847>)

ШУМИГАЙ Інна Вікторівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: innashum27@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0432-2651>)

ЩЕТИНА Сергій Васильович, доктор сільськогосподарських наук, доцент, Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Черкаська обл., Україна (e-mail: sv_shetina@ukr.net; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8504-2944>)

ЮХНОВСЬКИЙ Василь Юрійович, доктор сільськогосподарських наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна (e-mail: yukhnov@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3182-4347>)

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 не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття;
- викладення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
- висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

Статті подають українською або англійською мовами. До статті додають анотації українською та англійською мовами обсягом 200–250 слів (1800–2000 знаків), ключові слова (5–10), що не дублюють назву, а також відомості про авторів (прізвища, ініціали, місце їх роботи/навчання).

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 перше джерело (схеми дослідів, повторність, методи лабораторного аналізу, методи статистичної обробки). Якщо в тексті є аббревіатура, подавати її в дужках при першому

згадуванні. Автори мають дотримуватися правильної галузевої термінології (див. ДСТУ, СОУ), терміни мають бути уніфікованими.

Викладення результатів досліджень має 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 використується 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 подає свою публікацію. Надалі індекс УДК набирається і вирівнюється за лівим краєм. Заголовок статті набирається в наступному за УДК рядку і вирівнюється по середині. 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