

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

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ



2025

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

2 • 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. ,
<i>Doctor of Biological Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | SYCHOV M. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)</i> |
| VYSOCHANSKA M. ,
<i>Doctor of Economic Sciences,
Senior Researcher (Ukraine)</i> | STAVETSKA R. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)</i> |
| VOVK N. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | TARARIKO O. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,
Academician of NAAS (Ukraine)</i> |
| GONCHARENKO I. ,
<i>Doctor of Biological Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | TERTYCHNA O. ,
<i>Doctor of Biological Sciences,
Prof. (Ukraine)</i> |
| GUDKOV I. ,
<i>Doctor of Biological Sciences, Prof.,
Academician of NAAS (Ukraine)</i> | TKACH Ye. ,
<i>Doctor of Biological Sciences,
Senior Researcher (Ukraine)</i> |
| DEMYANYUK O. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,
Corresponding member of NAAS (Ukraine)</i> | FURDYCHKO O. ,
<i>Doctor of Economic and Agricultural Sciences, Prof.,
Academician of NAAS (Ukraine)</i> |
| DOBRYAK D. ,
<i>Doctor of Economics Sciences, Prof.,
Corresponding member of NAAS (Ukraine)</i> | CHOBOTKO G. ,
<i>Doctor of Biological Sciences, Prof. (Ukraine)</i> |
| ZAITSEV Yu. ,
<i>Doctor of Economic Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | SHERSTOBOEVA O. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)</i> |
| KONISHCHUK V. ,
<i>Doctor of Biological Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | SHERSHUN M. ,
<i>Doctor of Economic Sciences, Senior Researcher
(Ukraine)</i> |
| KOPIY L. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | YUKHNOVSKYI V. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)</i> |
| KOSTENKO S. ,
<i>Doctor of Biological Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | WALAT W. ,
<i>Doctor of Humanities Sciences, Prof. (Poland)</i> |
| LISOVYY M. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | DURSUN S. ,
<i>PhD, Prof. (Turkey)</i> |
| MUDRAK O. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | KOWALSKA A. ,
<i>Doctor of Engineering and Technical Sciences,
Docent (Poland)</i> |
| NAGORNIUK O. ,
<i>Candidate of Agricultural Sciences, Docent (Ukraine)</i> | COELHO PINHEIRO M. ,
<i>PhD, Prof. (Portugal)</i> |
| PALAPA N. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences,
Prof. (Ukraine)</i> | SOBCZYK V. ,
<i>Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Poland)</i> |
| PARFENYUK A. ,
<i>Doctor of Biological Sciences, Prof. (Ukraine)</i> | OKABE Y. ,
<i>Doctor of Economic Sciences, Prof. (Japan)</i> |
| SYMOCHKO L. ,
<i>Candidate of Biological Sciences, Docent (Ukraine)</i> | |

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор

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

Відповідальний секретар

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

БУДЗАНІВСЬКА І.Г.,

д-р біол. наук, проф. (Київ)

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'ЯНИЮК О.С.,

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

ДОБРЯК Д.С.,

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

ЗАЙЦЕВ Ю.О.,

д-р екон. наук, проф. (Київ)

КОНІЩУК В.В.,

д-р біол. наук, проф. (Київ)

КОПІЙ Л.І.,

д-р с.-г. наук, проф. (Львів)

КОСТЕНКО С.О.,

д-р біол. наук, проф. (Київ)

ЛІСОВИЙ М.М.,

д-р с.-г. наук, проф. (Київ)

МУДРАК О.В.,

д-р с.-г. наук, проф. (Вінниця)

НАГОРНЮК О.М.,

канд. с.-г. наук, доцент (Київ)

ПАЛАПА Н.В.,

д-р с.-г. наук, проф. (Київ)

ПАРФЕНЮК А.І.,

д-р біол. наук, проф. (Київ)

СИМОЧКО Л.Ю.,

канд. біол. наук, доцент (Ужгород)

СИЧОВ М.Ю.,

д-р с.-г. наук, проф. (Київ)

СТАВЕЦЬКА Р.В.,

д-р с.-г. наук, проф. (Біла Церква)

ТАРАРІКО О.Г.,

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

ТЕРТИЧНА О.В.,

д-р біол. наук, проф. (Київ)

ТКАЧ Є.Д.,

д-р біол. наук, ст. досл. (Київ)

ФУРДИЧКО О.І.,

д-р екон. і с.-г. наук, проф.,

акад. НААН (Київ)

ЧОБОТЬКО Г.М.,

д-р біол. наук, проф. (Київ)

ШЕРСТОБОЄВА О.В.,

д-р с.-г. наук, проф. (Київ)

ШЕРШУН М.Х.,

д-р екон. наук, доцент (Київ)

ЮХНОВСЬКИЙ В.Ю.,

д-р с.-г. наук, проф. (Київ)

ВАЛАТ В.,

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

ДУРСУН С.,

д-р філософії, проф. (Туреччина)

КОВАЛЬСЬКА А.,

д-р інж.-техн. наук, доцент

(Республіка Польща)

КОЕЛЬО ПІНЕЙРО М.,

д-р філософії, проф. (Португалія)

СОБЧИК В.,

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

ЙОШІХІКО ОКАБЕ,

д-р екон. наук, проф. (Японія)

- Коніщук В.В., Хом'як І.В., Шумиґай І.В., Онищук І.П.**
Динаміка рослинності полезахисних лісо-смуг, уражених бойовими діями, різної інтенсивності
- Мудрак О.В., Морозова Т.В.**
Всихання *Picea abies* (L.) H. Karst. як індикатор екосистемної нестійкості: причини, прояви та наслідки
- Стародуб В.І., Ткач Є.Д.**
Онтогенетично-популяційний аналіз *Sinapis arvensis* L. в агроценозах Правобережного Лісостепу України
- Юхновський В.Ю., Тупчий О.М.**
Переформатування полезахисних лісових смуг Київщини у лінійні насадження орно-польового агролісівництва
- Швиденко І.К., Кучма Т.Л., Райчук Л.А., Чоботко Г.М., Макдональд І.М., Барановська Н.А.**
Комплексний показник радіоекологічної критичності територій Українського Полісся: методика оцінки та картографування
- Васильєв Д.П., Ільєнко Т.В.**
Оцінка ефективності модифікованого індексу EVI-S у системі моніторингу рослинного покриву
- Ставецька Р.В., Димань Т.М., Вакула Б.В.**
Взаємозв'язок кліматичних змін та галузі козівництва
- Наконечний І.В., Скорик С.В., Ходосовцева Ю.А.**
Сучасний стан наземної теріофауни в агроландшафті Інгулецько-Дніпровського межиріччя на прикладі НПП «Кам'янська Січ»
- Москаленко А.М., Колоша В.П.**
Парадигма циркуляційної економіки в сучасних дослідженнях
- Гунчак М.В., Паламарчук Р.П., Пасічний В.І.**
Стан родючості ґрунтів передгірської зони Чернівецької обл.
- 6 **Konishchuk V., Khomiak I., Shumyhai I., Onyshchuk I.**
Vegetation dynamics of field protective forest strips affected by military actions of various intensities
- 14 **Mudrak O., Morozova T.**
Dieback of *Picea abies* (L.) H. Karst. as an indicator of ecosystem instability: causes, manifestations and consequences
- 24 **Starodub V., Tkach Ye.**
Ontogenetic and population analysis of *Sinapis arvensis* L. in agrocenoses of Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine
- 33 **Yukhnovskiy V., Tupchii O.**
Reformatting windbreaks of Kyiv region into linear plantings of silvoarable agroforestry
- 44 **Shvydenko I., Kuchma T., Raichuk L., Chobotko G., McDonald I., Baranovska N.**
Comprehensive indicator of radioecological criticality for territories of Ukrainian Polissya: assessment methodology and mapping
- 55 **Vasiliev D., Iliencko T.**
Effectiveness evaluation of a modified EVI-S index in monitoring system of vegetation cover
- 68 **Stavetska R., Dyman T., Vakula B.**
Climate change and goat farming interactions
- 78 **Nakonechnyi I., Skoryk S., Khodosovtseva Yu.**
Current state of terrestrial theriofauna in the agrolandscape of the Ingulets-Dnieper interfluvium on the example of the national nature park «Kamyanska Sich»
- 91 **Moskalenko A., Kolosha V.**
The circular economy paradigm in modern research
- 100 **Hunchak M., Palamarchuk R., Pasichnyak V.**
Soil fertility state of the foothill zone in Chernivtsi region

- Левішко А.С., Маменко П.М.**
Мікробні добрива та шляхи оптимізації ефективності їх застосування у рослинництві
- Ліщук А.М., Парфенюк А.І., Карачинська Н.В.**
Сегетальна фітобіота як чинник екологічних ризиків в агрофітоценозах за умов зміни клімату
- Якимович М.В., Тертична О.В., Пінчук В.О.**
Екологічний вплив та агрономічна цінність використання біопрепарату Компоназа для компостування гною великої рогатої худоби
- Бунас А.А., Дворецький В.В., Ткач Є.Д., Шерстобоева О.В.**
Утворення біоплівки на коренях сільськогосподарських культур мікроорганізмами-агентами органо-мінерального добрива Diamond grow марки HUMI [K] BIO + «PLUS»
- Полтава О.П., Дем'янюк О.С.**
Ефективність позакореневого підживлення кукурудзи (*Zea mays* L.) у Лівобережному Лісостепу України
- Сухіна Д.В.**
Формування площі листової поверхні гібридів сорго зернового (*Sorghum*) залежно від густоти стояння рослин та застосування регулятора росту
- Смульська І.В., Кічигіна О.О., Топчій О.В., Михайлик С.М., Хоменко Т.М., Король Л.В.**
Оцінка високоолеїнових гібридів соняшника (*Helianthus* L.) за врожайністю та якістю насіння
- 109 Levishko A., Mamenko P.**
Microbial fertilizers and ways to optimize the efficiency of their use in crop production
- 123 Lishchuk A., Parfeniuk A., Karachynska N.**
Segetal phytobiota as a factor of ecological risks in agrophytocenoses under climate change conditions
- 134 Yakymovych M., Tertychna O., Pinchuk V.**
Ecological impact and agronomic value of using biopreparation Componaze for composting cattle bedding manure
- 142 Bunas A., Dvoretzkyi V., Tkach Ye., Sherstoboeva O.**
Biofilm formation on roots of agricultural crops by microorganisms-agents of organomineral fertilizer Diamond grow of HUMI [K] BIO + «PLUS» brand
- 148 Poltava O., Demyanyuk O.**
Efficiency of foliar feeding of corn (*Zea mays* L.) in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine
- 156 Sukhina D.**
Formation of leaf surface area of sorghum (*Sorghum*) grain hybrids depending on plant quantity and application of growth regulator
- 163 Smulska I., Kichigina O., Topchii O., Mykhailik S., Khomenko T., Korol L.**
Evaluation of new high-olealine sunflower (*Helianthus* L.) hybrids for yield and seed quality
- Реферати 175 Abstract**
- Відомості про авторів 185 Information about the authors**
- Правила для авторів 188 Rules for the authors**

ДИНАМІКА РОСЛИННОСТІ ПОЛЕЗАХИСНИХ ЛІСОСМУГ, УРАЖЕНИХ ВОЄННИМИ ДІЯМИ, РІЗНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ

В.В. Коніщук¹, І.В. Хом'як², І.В. Шумигай¹, І.П. Оніщук²

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

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

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

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

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

e-mail: irinashpin@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2847-8570

У статті проаналізовано динаміку екосистем полезахисних лісосмуг, ушкоджених унаслідок воєнних дій. Дослідження є актуальним завданням сучасної екології та має важливе наукове і практичне значення для України в умовах воєнного стану та у повоєнний період. Отримані результати сприятимуть розробці науково обґрунтованих стратегій відновлення екологічної стійкості агроєкосистем та мінімізації негативних біогеративних наслідків для довкілля. Мета — прогнозування динаміки рослинних угруповань полезахисних лісосмуг, уражених унаслідок проведення активних бойових дій. Відповідно до мети поставлено такі завдання: описати фітоценотичну різноманітність полезахисних лісосмуг; визначити основні напрями автогенної сукцесії рослинності полезахисних лісосмуг; встановити основні види порушення фітоценозів полезахисних лісосмуг в умовах проведення бойових дій та їх наслідки. Фітоценотичне різноманіття обстежених ділянок складається з 5 класів, 7 порядків, 11 союзів, 14 асоціацій для степової зони; 12 класів, 17 порядків, 23 союзів, 47 асоціацій для Лісостепу та 11 класів, 13 порядків, 16 союзів, 24 асоціацій для Полісся. Полезахисні смуги розвиваються за моделлю «конуса наростання», центром якого є деревна рослинність, а межами — рудеральні та лучні угруповання на периферії. Під час побудови планів із відновлення полезахисних лісосмуг, уражених бойовими діями, слід проводити розрахунки прогнозів динаміки їхніх екосистем. На динаміку екосистем полезахисних лісосмуг, ушкоджених бойовими діями, впливають погіршення або знищення рослинності, руйнування А-горизонту ґрунту та оголення материнських порід. За незначного пошкодження полезахисної лісосмуги необхідно зробити контрольоване самовідновлення. У випадку значного ураження рослинності та ґрунтового покриву більш доцільно на місці пошкоджених проводити рекультивацию із відтворенням її на сусідній ділянці.

Ключові слова: сукцесії, постмілітарне відновлення рослинності, самовідновлення екосистем, фітоінвазії.

ВСТУП

Унаслідок нападу Російської Федерації на Україну завдано шкоду не лише життю, здоров'ю та економічному добробуту громадян, а й різним типам природних та антропогенних екосистем. Ведення бойових дій призводить до руйнування або порушення функціонування екосистем, які напряму експлуатуються, або є надавачами екосистемних послуг. Обидва типи таких утрат погіршують соціально-економічний стан громадян країни та держави загалом.

Збільшення площ сільськогосподарських угідь та розширення території активного рільництва спричинили проблеми адаптації цього виду діяльності до численних несприятливих умов середовища. З одного боку, такі агроєкосистеми могли постраждати від регулярних або стихійних несприятливих кліматичних явищ. З іншого боку, трансформація природи з метою поширення сільського господарства сама почала зумовлювати або посилювати небезпечні кліматичні феномени. До того ж великі масиви лісів ставали захистом та стабілізатором мезоклімату. Наразі через великі площі позбавлені лісо-чагарникової

рослиності цей захист зник. Полезахисні смуги стали новим механізмом захисту сільськогосподарських угідь від несприятливих погодних явищ [1].

Часто бойові дії сконцентровані саме навколо полезахисних смуг, що зумовлює повне їхнє знищення. Особливо це помітно в степовій та лісостеповій зонах України. Тут значення таких насаджень має дуже велике значення для врожайності сільськогосподарських культур та собівартості сільськогосподарської продукції. Саме в Степу та Лівобережному Лісостепу на сьогодні ведуться найактивніші бойові дії в лісосмугах [2]. Дослідження динаміки рослинності полезахисних лісосмуг, уражених бойовими діями, є актуальним завданням сучасної екології та має важливе наукове і практичне значення для України в умовах війни та у повоєнний період. Отримані результати сприятимуть розробці науково обґрунтованих стратегій відновлення екологічної стійкості агроecosystem та мінімізації негативних наслідків військової агресії для довкілля. Багато лісосмуг є замінованими.

Метою дослідження є прогнозування динаміки рослинних угруповань полезахисних лісосмуг, уражених унаслідок проведення активних бойових дій. Відповідно до мети поставлено такі завдання:

- описати фітоценотичну різноманітність полезахисних лісосмуг;
- визначити головні напрями автогенної сукцесії рослинності полезахисних лісосмуг;
- встановити основні види порушення фітоценозів полезахисних лісосмуг у результаті проведення бойових дій та їх наслідки.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Перше документальне підтверджене застосування вітрозахисних рослинних насаджень із метою меліорації малопродуктивних аграрних угідь датується в XVIII ст. і пов'язано з практикою шотландських селян [3]. З тих пір проблематика екологічних характеристик викликала чималий інтерес зі сторони прикладної екології.

Полезахисні лісосмуги здійснюють багатовекторний вплив на мікро- та мезокліматичні умови. З одного боку, вони є захистом від несприятливих погодних умов у місці свого безпосереднього розташування, а з іншого боку, є регіональними стабілізаторами клімату [4].

Згідно з науковими прогнозами О.П. Ткачука [5] щодо незворотності глобальної зміни клімату, охорона, збереження та відтворення системи полезахисних лісових насаджень набувають критичного значення в контексті адаптації сучасного землеробства до нових кліматичних умов, займаючи в ній особливе місце. Полезахисні лісосмуги виконують поліфункціональне значення, що емпірично підтверджується результатами наукових досліджень, довготривалими спостереженнями та практичним досвідом. Отже, в сучасних умовах збереження і створення полезахисних смуг є одним з ефективних стратегічних напрямів у рамках комплексного підходу до адаптації рослинництва до кліматичних змін.

Полезахисні лісосмуги є осередками видового біорізноманіття. Особливо це чітко виражено в степовій зоні у роботі К.О. Редінова [6], де більшість екосистем є повністю трансформованими агроландшафтами. Полезахисні лісосмуги є чи не основним місцем гніздівлі орнітофауни суходолу. До того ж із ними пов'язані інші систематичні групи тварин. Насамперед мова йде про плазунів та деяких видів ссавців. Це здійснює опосередкований вплив на ефективність аграрного виробництва, оскільки значне число цих видів знищують шкідників сільського господарства.

За попередніми дослідженнями українських та іноземних вчених [7–9] відомо, що внаслідок бойових дій деревна та чагарникова рослинність полезахисних лісосмуг пошкоджується або й повністю знищується. Зокрема значних порушень зазнає трав'яний покрив. На нього діють, як розриви вибухових зарядів, так і рух важкої техніки чи фортифікаційні заходи. Тому, весь комплекс екосистемних послуг, які надають повноцінно функціонувальні полезахисні лісосмуги втрачається. Крім

того, існують високі ризики, що в порушені системи еконіш, проникатимуть інвазійні види трансформери, зокрема бур'яни [10].

МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріалом дослідження слугували стандартні геоботанічні описи, отримані в ході польових досліджень, здійснених маршрутним-експедиційним методом упродовж 20 років, зокрема у період з 2004 по 2024 рр. Було досліджено три зони на території Полісся, Лісостепу та Степу.

Геоботанічний опис включав загальну характеристику умов середовища та визначення проєктивного покриття вищих судинних рослин за модифікованою п'ятибальною шкалою, розробленою на основі семибальної шкали Браун-Бланке. Трансформація шкали передбачала таке: проєктивне покриття понад 75% відповідало 5 балам; 50–75 – 4 балам; 25–50 – 3 балам; 5–25 – 2 балам; менше 5% – 1 балу. Відповідно, категорії «1 бал», «+» та «г» класичної шкали Браун-Бланке були об'єднані та отримали значення «1 бал» у модифікованій шкалі.

База даних геоботанічних описів була структурована за допомогою програмного забезпечення «Turboveg for Windows 2.0.». Визначення показників екологічних чинників динамічного стану та інтегрального показника антропогенної трансформації здійснювалося із застосуванням синфітоіндикаційної методології [11].

Для оцінки чинників середовища використовувалася уніфікована шкала Дідуха-Плюти, реалізована у відповідній базі даних [12]. Антропогенне навантаження оцінювалося на основі бази даних «EcoDBase 5d» із застосуванням 18-бальної шкали Дідуха–Хом'яка. Розрахунок синфітоіндикаційних показників проводився завдяки програмному інструменту Simagr1 1.12. [11].

Стандартизовані геоботанічні описи були інтегровані за допомогою програмного забезпечення «Turboveg for Windows». Згодом ці дані були експортовані до програми «JUICE 7.1.29» у форматі XML-таблиць.

Отримані внаслідок цієї процедури фітоценотичні таблиці були збережені у форматі WCT (JUICE Table format WCT). Після верифікації щодо наявності дублікатів таксонів, ідентифікація подібних геоботанічних описів здійснювалася з використанням колірної кодування для подальшого об'єднання. Ідентифікація сформованих фітоценозів проводилася на основі блоків діагностичних видів відповідно до таксономічної системи, представленої у «Продромусі рослинності України» [13]. Назви видів вищих судинних рослин подавалися із врахуванням «Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist» [14].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

З точки зору екології помилково вважати, що полезахисні смуги – це виключно деревні насадження. Із перших років свого існування вони стають повноцінними екосистемами, які розвиваються відповідно до основних екологічних законів. До того ж це не лише лісові екосистеми. Територія полезахисних насаджень покривається різними синтаксонами рослинних угруповань. Окрім лісових фітоценозів тут зустрічаються синантропні (переважно рудеральні), лучні й степові, чагарникові та чагарничкові. Це можна проілюструвати на прикладі дослідження полезахисних смуг у трьох точках на території України (околиці с. Крутоярка Миколаївської обл.; с. Якимівка Вінницької обл.; с. Сущанка Житомирської обл.).

Рослинність виявлена в межах полезахисних смуг у районі с. Крутоярка насичена флористичними елементами характерними для зони Степу. Вона складається з 5 класів, 7 порядків, 11 союзів, 14 асоціацій. Тут трапляються такі класи рослинних угруповань: *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soó 1947 (2 асоціації), *Robinietea* Jurko ex Hadac et Sofron 1980 (2 асоціації), *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. ex von Rochow 1951 (3 асоціації), *Stellarietea mediae* R.Tx., Lohmaer et Preising 1950 (7 асоціацій) та *Polygono arenastri-Poëtea annuae* Rivas-Martínez 1975 (1 асоціація).

Деревна рослинність полезахисних смуг цієї території належить до класу *Robinietea*. На межі між лісосмугою та ріллею зустрічаються, як природні угруповання класу *Festuco-Brometea*, так і синантропні класи *Artemisietea vulgaris*, *Stellarietea mediae* та *Polygono arenastri-Poëtea annuae*. Сегетальна рослинність класу *Stellarietea mediae* пов'язана із порушеннями ґрунту та трав'яного покриву. Рудеральні угруповання класу *Polygono arenastri-Poëtea annuae* обумовлені наявністю ґрунтових доріг.

Прикладом полезахисних смуг у зоні Лісостепу є об'єкти описані нами в районі с. Якимівка. Рослинність цієї території включає в себе 12 класів, 17 порядків, 23 союзів, 47 асоціацій. Це класи *Molinio-Arrhenatheretea* R.Tx 1937 (9 асоціацій), *Trifolio-Geranietea* Th. Müll 1962 (2 асоціації), *Robinietea Jurco* ex Hadac et Sofron 1980 (2 асоціації), *Rhamno-Prunetea* Rivas Goday et Borja Carbonell ex Tüxen 1962 (5 асоціацій), *Carpino-Fagetea sylvaticae* Jakucs ex Passarge 1968 (1 асоціація), *Epilobieteae angustifolii* Tx. et Preising ex von Rochow 1951 (2 асоціації), *Salicetea purpurea* Moor 1958 (3 асоціації), *Stellarietea mediae* R. Tx., Lohmaer et Preising 1950 (8 асоціацій), *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. ex von Rochow 1951 (12 асоціацій), *Polygono arenastri-Poëtea annuae* Rivas-Martínez 1975 (2 асоціації), *Plantagenetea majoris* Tx. et Preising ex von Rochow 1951 (2 асоціації), *Galio-Urticetea* Passarge et Kopecký 1969 (1 асоціація). Тут спостерігається вища фітоценотична різноманітність. Класичні лучні угруповання відсутні, однак зустрічаються остепенілі луки асоціацій *Festuco valesiacae-Poëtum angustifoliae* Mirkinin Denisova et al., 1986 та *Festuco valesiacae-Agrostietum vinealis* Shelyag. Sipaylova. V. Solomakha & Mirkinin Shelyagetal. 1985.

Ділянка лісосмуг, описана на території Полісся, — рослинність, яка належить до 11 класів, 13 порядків, 16 союзів, 24 асоціації. Тут нами опрацьовані такі класи: *Molinio-Arrhenatheretea* R.Tx 1937 (6 асоціацій), *Trifolio-Geranietea* Th. Müll 1962 (1 асоціація) *Epilobieteae angustifolii* Tx. et Preising ex von Rochow 1951 (1 асоціація),

Robinietea Jurco ex Hadac et Sofron 1980 (3 асоціації), *Salicetea purpurea* Moor 1958 (3 асоціації), *Franguletea* Doing ex Westhoff in Westhoff et Den Held 1969 (1 асоціація), *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. ex von Rochow 1951 (3 асоціації), *Stellarietea mediae* R. Tx., Lohmaer et Preising 1950 (1 асоціація), *Polygono arenastri-Poëtea annuae* Rivas-Martínez 1975 (2 асоціації), *Plantagenetea majoris* Tx. et Preising ex von Rochow 1951 (2 асоціації), *Galio-Urticetea* (1 асоціація).

Незважаючи на те, що вибірка не є достатньо репрезентативною, ми можемо зробити деякі припущення щодо фітоценотичного складу рослинності полезахисних смуг різних природних зон (табл.).

Основною відмінністю є зменшення присутності мезоксерофітних угруповань та збільшення кількості мезофітних. Присутня у всіх природних зонах рослинність класів *Robinietea*, *Stellarietea mediae*, *Artemisietea vulgaris* та *Polygono arenastri-Poëtea annuae*. Це вказує на те, що безпосередньо лісова рослинність є переважно синантропізованою і належить до похідних лісів класу *Robinietea*. Оскільки полезахисні смуги межують із ріллею, то за сприятливих умов тут є угруповання класу *Stellarietea mediae*. На межі між сегетальними та природними екосистемами розташовані рудеральні ценози класу *Artemisietea vulgaris*. У місцях, де прокладені ґрунтові дороги або стежки, зустрічаються угруповання класу *Polygono arenastri-Poëtea annuae*.

Полезахисні смуги розвиваються за моделлю «конуса наростання». Коли дерева і кущі вступають у генеративну стадію онтогенезу, по периферії деревних насаджень з'являється їхній підріст. У випадку, коли не встигає сформуватися суцільне покриття із насаджених дерев, то підріст поширюється й розвивається всередині лісосмуги. Оскільки, більшість видів, які використовують для створення полезахисних лісосмуг мають тривалу ювенільну фазу розвитку, то конус наростання формується не ними, а видами, які проникають у вигляді насінневої діаспори. Переважно це інвазійні види трансформери: *Acer negundo* L.,

**Порівняння фітоценотичного складу для досліджених ділянок
полезахисних лісонасаджень у різних природних зонах України**

Класи рослинних угруповань	Кількість асоціацій рослинних угруповань у різних природних зонах		
	Степ	Лісостеп	Полісся
<i>Robinietea</i>	2	2	3
<i>Carpino-Fagetea sylvaticae</i>	—	1	—
<i>Salicetea purpurea</i>	—	3	3
<i>Franguletea</i>	—	—	1
<i>Rhamno-Prunetea</i>	—	5	—
<i>Epilobietea angustifolii</i>	—	2	1
<i>Festuco-Brometea</i>	2	—	—
<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>	—	9	6
<i>Trifolio-Geranietea</i>	—	2	1
<i>Stellarietea mediae</i>	7	8	3
<i>Artemisietea vulgaris</i>	3	12	3
<i>Galio-Urticetea</i>	—	1	1
<i>Polygono arenastri-Poëtea annuae</i>	1	2	2
<i>Plantagenetea majoris</i>	—	2	2

Elaeagnus argentea Pursch., *Fraxinus americana* L., *Quercus rubra* L., *Robinia pseudo-acacia* L. та ін. Рідше, це види аборигенної флори, що мають потужний репродуктивний потенціал — *Acer campestre* L. *Acer tataricum* L. *Fraxinus excelsior* L., *Ulmus laevis* Pall. та ін. У межах фітополя деревно-чагарникової рослинності утворюються специфічні умови, які сприяють формуванню узлісних фітоценозів (рис. 1). На відміну від перелогів або степових ділянок в умовах строгої заповідності, ці конуси не поширюються без обмежень. Антропогенне навантаження зі сторони доріг або ріллі, призводить до зниження показників динаміки і формування синантропних угруповань, від класичних рудеральних ценозів до нітрофікованих узлісь (рис. 2). У місцях, де тиск насінневої діаспори синантропної флори не високий, можуть формуватися природні злаковники різного типу.

Утворена ними дернина та щільна упаковка еконіш дає можливість упродовж певного часу опиратися синантропізації. Тому утворюється рівновага між двома

процесами — природне формування угруповань екосистем із вищими показниками природної динаміки та антропогенний тиск на периферійні ділянки, який їх знижує. З огляду на те, що полезахисні смуги в Україні існують лише впродовж кількох десятиліть, важко сказати чи приведе цей баланс до катастрофічного клімаксу чи буде розвиватися в напрямі енергетичного клімаксу.

У ході бойових дій відбуваються два основних процеси, що впливають на динаміку екосистем полезахисних смуг. Насамперед це пошкодження або знищення рослинності. Такі дії призводять до зниження показника природної динаміки та зміщення сукцесії в бік піонерних екосистем. Здебільшого страждає деревно-чагарникова рослинність, яка, хоч і є більш стійкою до механічних впливів за трав'яну, але потребує більше часу і більш оптимальних едафічних умов для відновлення. Трав'яна рослинність пошкоджується лише за умови механічного, хімічного або термічного враження дерну та верхніх шарів ґрунту [15].

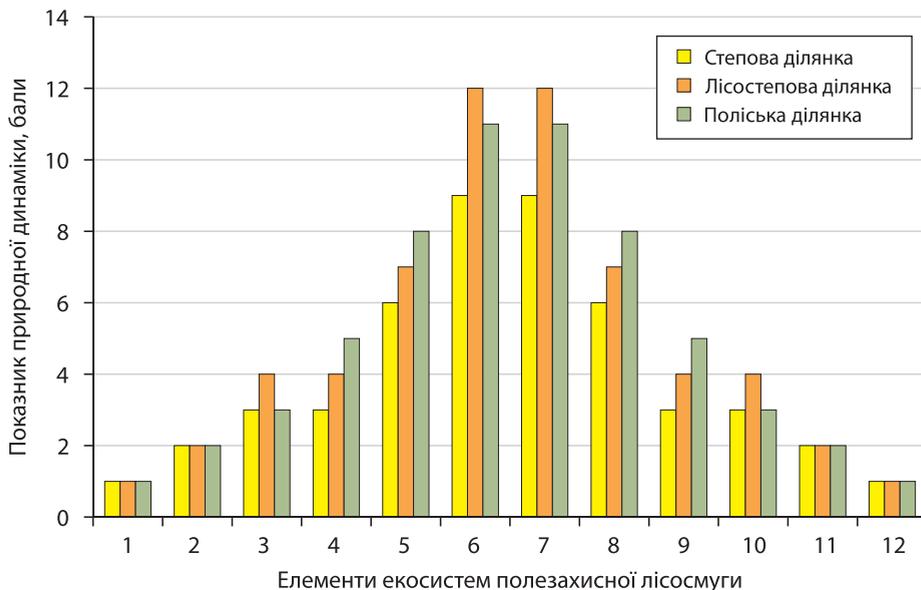


Рис. 1. Показники природної динаміки екосистем у різних частинах полезахисних насаджень

Примітки: 1, 12 – рілля; 2, 11 – ґрунтова дорога; 3, 4, 9, 10 – трав'яна рослинність периферійної частини лісосмуги; 5, 8 – узлісся; 6, 7 – деревна рослинність.

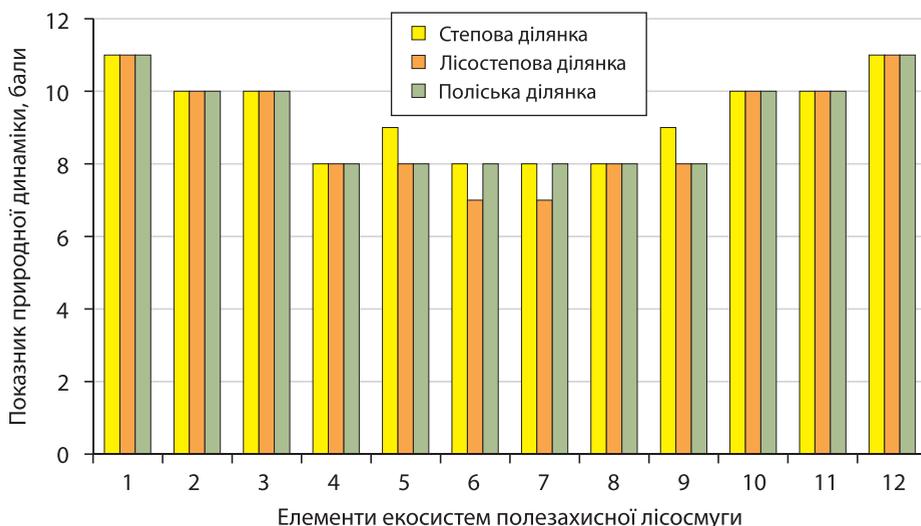


Рис. 2. Показники антропогенної трансформації екосистем у різних частинах полезахисних насаджень

Примітки: 1, 12 – рілля; 2, 11 – ґрунтова дорога; 3, 4, 9, 10 – трав'яна рослинність периферійної частини лісосмуги; 5, 8 – узлісся; 6, 7 – деревна рослинність.

Наступним чинником є руйнування А-горизонту ґрунту та оголення материнських порід. Це зумовлює не тільки порушення родючих ґрунтових горизонтів, а й зміни мікрорельєфу. Подальший розвиток буде залежати наскільки швидко водна й вітрова ерозія вирівняє новоутворені складки рельєфу та від самого типу материнських порід. Найшвидше вирівнюються нерівності поверхні землі утворені крупнозернистими та перевіяними пісками. Найповільніше — сформовані монолітними кристалічними гірськими породами. Крім того, найшвидше відновлюються едафічні умови на лесових породах, які відносно помірно вражаються водною ерозією.

Відновлення рослинності, враженої бойовими діями залежить від ступеня пошкодження флори, едафічних умов або їхньої піддатливості для ендоекогенезу та від наявності банку насіння чи насінневої діаспори. Якщо сила враження ґрунтових горизонтів помірна, то саме наявність насіння, необхідних для наступної стадії автогенної сукцесії видів, буде ключовим чинником. На відміну від інших різновидів антропогенного пошкодження полезахисних лісосмуг, розриви вибухових зарядів та уламково-кулеві ураження спричиняють короточасний термічний шок, який призводить до знищення банку насіння. Особливо це помітно під час використання освітлювальних, запалювальних та термобаричних боєприпасів. За масованого обстрілу такого виду боєприпасів території полезахисних лісосмуг може бути винищене насіння всіх видів рослин, окрім пірофітів [16].

Усі види активних бойових дій на території полезахисних лісосмуг спричиняють порушення системи упаковки еконіш. Зниження конкурентного тиску, що виникає в такому випадку та наявність незайнятих ніш, призводить до проникнення низки інвазійних та піонерних видів. Останні складаються переважно із інвазійних видів трансформерів та бур'янів [17].

Зважаючи на вищенаведені обставини, під час побудови планів із відновлення по-

лезахисних лісосмуг, уражених бойовими діями, слід проводити розрахунки прогнозів динаміки їхніх екосистем [18]. Самовідновлення таких об'єктів є можливим і доволі дешевим способом вирішення цієї проблеми. Однак, безконтрольне самовідновлення несе високі ризики щодо ведення сільського господарства, отримання екосистемних послуг та впливу на біорізноманіття регіону. Тому, в окремих випадках, за незначного ушкодження необхідно проводити контрольоване самовідновлення лісосмуг. Під час значних погіршень рослинності та ґрунтового покриву на місці полезахисних лісосмуг доцільніше здійснювати гуманітарне розмінування та рекультивацию, а нову полезахисну посадку формувати вже на сусідній ділянці.

ВИСНОВКИ

Фітоценотичне різноманіття обстежених ділянок включає в себе 5 класів, 7 порядків, 11 союзів, 14 асоціацій для степової зони; 12 класів, 17 порядків, 23 союзів, 47 асоціацій для Лісостепу та 11 класів, 13 порядків, 16 союзів, 24 асоціацій для Полісся.

Полезахисні смуги розвиваються за моделлю «конуса наростання», центром якого є деревна рослинність, а межами — рудеральні та лучні угруповання на периферії.

Під час побудови планів із відновлення полезахисних лісосмуг, уражених бойовими діями, слід проводити розрахунки прогнозів динаміки їхніх екосистем.

На динаміку екосистем полезахисних лісосмуг, ушкоджених бойовими діями, впливають погіршення або знищення рослинності, руйнування горизонту ґрунту та оголення материнських порід.

За незначного ушкодження полезахисної лісосмуги потрібно здійснювати контрольоване самовідтворення, відновлювати та проводити реабілітацію лісосмуг варто паралельно до існуючих насаджень. У випадку значного пошкодження рослинності та ґрунтового покриву більш доцільно робити гуманітарну рекультивацию із відтворенням її на сусідній ділянці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Brandle, J. R., Takle, E., & Zhou, X. (2021). Wind-break practices. *North american agroforestry*, 89–126. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-017-2424-1_5.
2. Соломаха, В. А., Соломаха, І. В., & Марценюк, О. П. (2022). *Кадастр адвентивних та інвазійних видів рослин полезахисного лісу*. Київ: Інститут агроекології і природокористування НААН.
3. Prinsley, R. T. (1992). The role of trees in sustainable agriculture — an overview. *Agroforestry Systems*, 20, 87–115.
4. Mume, I. D., & Workalemahu, S. (2021). Review on windbreaks agroforestry as a climate smart agriculture practices. *American Journal of Agriculture and Forestry*, 9(6), 342–347. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ajaf.20210906.12>.
5. Качук, О. П., & Вітер, Н. Г. (2022). Екологічні проблеми функціонування полезахисних лісосмуг в умовах зміни клімату. *Наукові доповіді НУБіП України*, 2(96). DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2022.02.001>.
6. Редінов, К. О. (2016). Орнітофауна агроландшафтів на заході Миколаївської області у гніздовий період. *Беркут*, 25(2), 82–92.
7. Matsala, M., Odruzhenko, A., Sydorenko, S., & Sydorenko, S. (2025). War threatens 18% of protective plantations in eastern agroforestry region of Ukraine. *Forest Ecology and Management*, 578, 122361. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122361>.
8. Крисінська, Д. О., & Тимченко, І. В. (2024). Результати проекту «Оцінка екологічних наслідків війни для громад» («War and environmental damage guidelines for communities»). *Ольвійський форум—2024: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі* (с. 188–190). Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили. URL: <https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/bitstream>.
9. Weninger, T., Scheper, S., Lackóová, L., Kitzler, B., Gartner, K., King, N., ... Michel, K. (2021). Ecosystem services of tree windbreaks in rural landscapes — a systematic review. *Environmental Research Letters*, 16(10), 103002. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1d0d>.
10. Khomiak, I. V., Onyshchuk, I. P., Vakerych, M. M., & Hasyneć, Y. S. (2024). Adaptation strategies of *Heracleum sosnowskyi* in Ukrainian Polissia. *Biosystems Diversity*, 32(1), 99–106. DOI: <https://doi.org/10.15421/012409>.
11. 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>.
12. Дідух, Я. П. (2012). *Основи біоіндикації*. Київ: Наукова думка.
13. Дубина, Д. В., Дзюба, Т. П., Ємельянова, С. М., Багрикова, Н. О., Борисова, О. В., Борсукевич, Л. М., ... Якушенко, Д. М. (2019). *Продромус рослинності України*. Київ: Наукова думка.
14. 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.
15. Дубина, Д. В., Устименко, П. М., Дзюба, Т. П., Ємельянова, С. М., & Дацюк, В. В. (2023). Полезахисні лісові смуги України: оглядово-аналітична оцінка та план дій. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер.: Агронімія і біологія*, 51(1), 44–52. DOI: <https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.1>.
16. Chornyy, S. G. (2024). The impact of military operations in 2022 on the wind-erosion hazard of the Ukrainian right bank. *Ecology and Noospherology*, 35(1), 13–21. DOI: <https://doi.org/10.15421/032402>.
17. Соломаха, І. В., Коніщук, В. В., Соломаха, В. А., Тимочко, І. Я., Ілленко, Т. В., & Кучма, Т. Л. (2022). *Екологічна паспортизація, збереження, реконструкція існуючих та створення нових захисних лісових насаджень в Україні (методичні рекомендації)*. Київ: Інститут агроекології і природокористування НААН.
18. Ucar, Tamer, & Hall, Franklin R. (2001). Windbreaks as a pesticide drift mitigation strategy: A review. *Pest Management Science*, 57(8), 663–675. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.341>.

Стаття надійшла до редакції журналу 14.03.2025

ВСИХАННЯ *PICEA ABIES* (L.) H. KARST. ЯК ІНДИКАТОР ЕКОСИСТЕМНОЇ НЕСТІЙКОСТІ: ПРИЧИНИ, ПРОЯВИ ТА НАСЛІДКИ

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 розглянуто актуальну проблему всихання лісів як прояву порушення екосистемної рівноваги та показника зниження адаптивного потенціалу лісових біогеоценозів. Проведено систематизацію основних кліматичних, біотичних і антропогенних чинників, що зумовлюють зниження резистентності деревних порід. Проаналізовано ключові екологічні наслідки деградації лісів, серед яких — зменшення продуктивності, зростання ризиків фітопатогенних пошкоджень, порушення кругообігу вуглецю та водного балансу. Висвітлено необхідність інтегрованого моніторингу з використанням індикаторного підходу та адаптивних сценаріїв управління. У статті представлено результати комплексного аналізу чинників, що зумовлюють всихання ялинових насаджень у Карпатському регіоні України. Дослідження виконано з урахуванням кліматичних, біотичних, антропогенних і гідрологічних чинників, що формують сукупний стресовий вплив на екосистему. Наведено результати морфологічного, фітопатологічного та анатомічного аналізу стану дерев *Picea abies* (L.) H. Karst., виявлено характерні зміни у фізіологічних показниках, фотосинтетичних пігментах та структурі хвої. Встановлено кореляційні та регресійні зв'язки між морфометричними параметрами, біомасою та вмістом води. Показано, що зниження біомаси та зміна анатомічної будови хвої можуть бути результатом порушення фотосинтезу, водного режиму та накопичення стрес-індукованих метаболітів. Дослідження підтверджує значне поширення фітопатологічних уражень похідних ялиників у Карпатському регіоні, зокрема, домінування кореневих гнилей, спричинених *Armillaria mellea* (Vahl. ex Fr.) Kunt. та *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. Морфологічні показники хвої (довжина, щільність, біомаса) та її водний вміст є чутливими індикаторами стресового стану дерев. Виявлено кореляції між цими параметрами, що створює підґрунтя для їхнього використання в системі біоіндикації. Порушення фотосинтетичної активності, змінений баланс пігментів та зниження щільності смоляних каналів в уражених деревах свідчать про комплексну фізіологічну дестабілізацію деревостану. Встановлено потенціал застосування морфометричних і біохімічних характеристик хвої для ранньої діагностики екосистемної нестійкості та моніторингу лісових угруповань у змінених кліматичних умовах.

Ключові слова: лісові екосистеми, деградація ялинових насаджень, морфометрія хвої, кліматичні загрози, кореневі гнилі.

ВСТУП

У контексті глобальних кліматичних змін та посилення антропогенного впливу істотно ускладнюється підтримання функціональної стійкості лісових екосистем. Упродовж останніх десятиліть у багатьох регіонах світу, включно з Україною, спостерігається зростання масштабів всихання

лісів [1]. Це явище не лише впливає на стан біорізноманіття та ресурсний потенціал лісових екосистем, але й є вагомим індикатором порушення екологічного балансу та зниження адаптивної здатності фітоценозів до дії абіотичних і біотичних стресорів. На сьогодні достатньо вивчено походження, історію створення, склад, продуктивність і особливості господарського використан-

ня похідних ялиників. Водночас актуальними залишаються проблеми, пов'язані з низькою стійкістю цих насаджень, недостатньою ефективністю їх реконструкції та переходу до корінних типів лісу. Мало дослідженими залишаються також біофункціональні, лісівничо-типологічні особливості похідних фітоценозів, питання впровадження нових інтродуцентів і ефективності лісозахисних заходів [2–4]. Масове враження похідних ялиників патогенними грибами в поєднанні з кліматичним стресом значно знижує екологічну та господарську цінність таких насаджень. Це обумовлює необхідність розроблення та запровадження адаптивних стратегій реконструкції лісів із врахуванням типологічної відповідності порід, фітопатологічного моніторингу та відновлення екологічної цілісності екосистем.

Мета роботи — здійснити комплексний аналіз чинників всихання лісів в Україні на прикладі ялинових насаджень Карпатського регіону, зокрема Чернівецької обл., з акцентом на екологічну вразливість похідних ялиників у контексті змін клімату, впливу біотичних агентів та порушення гідрологічного режиму, а також визначити напрями підвищення їх стійкості та ефективного лісоуправління.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблема всихання лісів набула особливої актуальності в умовах кліматичних змін, антропогенного навантаження та зростання біотичних загроз. Різні аспекти цього явища вивчалися як українськими, так і зарубіжними дослідниками.

Зокрема, серед українських науковців істотний внесок у вивчення екологічного стану лісових екосистем зробили О.В. Шпарик [5], який досліджував динаміку деградації смерекових лісів у Карпатах, М.М. Пиріг та І.Ю. Білас [6], що аналізували вплив кліматичних змін на продуктивність деревостанів, Ю.М. Шевчук та О.В. Крамар [7], а також вивчали фітопатологічні загрози, зокрема поширення кореневих гнилей. Значну увагу процесам всихання сосно-

вих і вільхових лісів на Поліссі приділили І.П. Гордієнко та Н.О. Бородавка [8].

На міжнародному рівні тему всихання лісів активно розробляють такі дослідники, як W. Seidling (Німеччина), який вивчає довготривалі зміни в лісових екосистемах Європи у відповідь на глобальні зміни клімату, А. Hlásny (Словаччина) [9], що досліджує стресові чинники і вразливість смерекових лісів до *Ips tyrographus* у Центральній Європі, R. Marušák (Чехія) [10] і M. Netherer (Австрія) [11], які аналізували вплив комбінації кліматичного стресу та біотичних факторів на деградацію лісів. Також варто відзначити роботи J. Jactel (Франція) [12] щодо зв'язку між біорізноманіттям деревостанів і їх стійкістю до шкідників.

Станом на 1 січня 2024 р. загальна площа всихаючих лісових насаджень в Україні становила 269 тис. га. Впродовж першого півріччя 2024 р. виявлено нові осередки всихання на площі 101 тис. га, з яких 65 тис. га охоплено заходами санітарно-оздоровчого характеру. Відтак, станом на 1 липня 2024 р. площа вражених насаджень зросла до 305 тис. га. За структурою порід домінують: сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) — 154 тис. га, дуб звичайний (*Quercus robur* L.) — 86 тис. га, ялина європейська (*Picea abies* (L.) H. Karst.) — 15 тис. га, інші деревні породи — 50 тис. га [13]. Аналіз літературних джерел і офіційної статистики свідчить про мультифакторний характер всихання лісів, який обумовлюється такими групами чинників:

- **кліматичні зміни:** підвищення середньорічних температур, зменшення кількості опадів, подовження тривалості посух і зростання частоти екстремальних погодних явищ спричиняють водний дефіцит, знижують ефективність фотосинтезу, порушують транспірацію та уповільнюють приріст деревини. В умовах Полісся спостерігається активне всихання *P. sylvestris*, яке корелює з температурно-водним дисбалансом [14–17];
- **біотичні загрози:** ослаблені кліматичними чинниками деревостани стають уразливими до фітофагів, фітопатогенів

та інвазійних видів. Прикладом є масове поширення короїда-типографа (*Ips typographus* (Linnaeus, 1758) у смерекових лісах Карпат, що спричинило значну деградацію насаджень [18; 19];

- **антропогенне навантаження:** індустріальне забруднення, аграрна трансформація ландшафтів, техногенні порушення ґрунтів, рекреаційне навантаження та нераціональне лісокористування істотно знижують адаптивний потенціал деревостанів. Забруднення формальдегідом, оксидами сірки, важкими металами викликає хронічний стрес у деревних рослин. Особливо вразливими є штучні монокультурні насадження, сформовані без урахування едафокліматичних особливостей [20; 21];
- **порушення гідрологічного режиму:** осушення заболочених ділянок, зменшення рівня ґрунтових вод і руйнування природної дренажної мережі знижують водозабезпечення дерев, спричиняючи масове всихання вільхових лісів на Поліссі [22; 23].

Деградація лісових екосистем супроводжується трансформацією їх структурно-функціональної організації: зменшується чиста первинна продукція (NPP), скорочується листкова поверхня, змінюється видовий склад. Зростає ймовірність масового розмноження шкідників і лісових пожеж. У середньостроковій перспективі це призводить до зниження екосистемних послуг, порушення біогеохімічних циклів, деградації ґрунтів і мікрокліматичних змін. Втрата структурної і функціональної різноманітності фітоценозів вимагає впровадження інтегрованих моніторингових і лісоуправлінських стратегій. Особливої уваги заслуговує проблема зниження адаптивного потенціалу похідних ялиників, які були створені на місцях первинних букових, дубових та ялицевих лісів. У Карпатському регіоні ці насадження демонструють знижену життєздатність, схильність до масового враження кореневими гнилями, спричиненими *Armillaria mellea* (Vahl. ex Fr.) Kumm., *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. [19; 20].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проведено на ялиниках (*Picea abies* (L.) H. Karst.) віком 15–20 років у межах Чернівецької обл. Матеріалом для аналізу слугували одно- та дворічна хвоя дерев із різним ступенем пошкодження. Виділено три категорії дерев за візуальними ознаками всихання (слабо, помірно та сильно ушкоджені). Контрольні дерева добиралися за відсутності видимих симптомів стресу, з аналогічними віковими та типологічними характеристиками. Загалом було обстежено 360 дерев (по 90 у кожній з чотирьох груп — три ушкоджених і контрольна).

Фітоаудит і польове обстеження здійснено впродовж 2022–2023 рр. на територіях ДП «Сторожинецьке ЛГ», ДП «Берегометське ЛГ» та ДП «Чорнівське ЛГ», які належать до Чернівецького обласного управління лісового та мисливського господарства. Загальна площа рекогносцирувального обстеження становила 1143 га. Закладено пробні площі розміром 0,1 га у кварталах, де домінують похідні ялиники. Відбір ділянок виконано за критеріями типологічної однорідності, вираженості симптомів деградації та наявності даних щодо господарських заходів. Загальна площа ялиників у регіоні становить близько 72,4 тис. га, з яких приблизно 25% (18,2 тис. га) — це похідні насадження, переважно в межах Сторожинецького (8409 га) та Берегометського (8002 га) лісгоспів [21]. На пробних площах здійснено облік за такими показниками (відповідно до [22; 23]):

- **стан дерев:** оцінка прозорості крони, зміни забарвлення хвої, ступеня відмирання (за 5-бальною шкалою згідно з Санітарними правилами в лісах України);
- **ознаки кореневої гнилі та інфекційного враження:** візуальний огляд кореневої шийки, пеньків та нижньої частини стовбура з фіксацією плодівих тіл грибів (*Armillaria mellea*, *Heterobasidion annosum*);
- **параметри структури насаджень:** повнота, зімкнутість крон, освітленість,

інтенсивність рубок — за методикою ДСТУ 2894–94.

Відбір хвої проводився з верхньої трети крони на південній експозиції за допомогою сучкорізів або альпіністського спорядження (залежно від висоти дерева). Від кожного дерева відбирали по 10–15 пагонів, які об'єднували в інтегральну пробу. Зразки транспортували до лабораторії в охолодженому стані. Загальний обсяг дослідженої хвої сягав понад 10 кг (у сирій масі).

У лабораторії виконували такі дослідження:

- **морфометричний аналіз:** довжина пагонів, довжина хвоїнок, щільність хвої (на 10 см пагона) вимірювались цифровим штангенциркулем і стереомікроскопом Leica EZ4;
- **біомаса та водоутримувальна здатність:** свіжу та суху масу визначали після сушіння за 105°C до сталої ваги. Вміст води розраховували за формулою:

$$RWC = \frac{\text{маса свіжої хвої} - \text{маса сухої хвої}}{\text{маса свіжої хвої}} \cdot 100;$$

- **вміст пігментів:** хлорофіли *a*, *b* і каротиноїди екстрагували 80% ацетоном і визначали спектрофотометрично (Shimadzu UV-1800) за методом Ліхтенгелера і Велберна;
- **анатомічні ознаки:** проводився мікроскопічний аналіз товщини паренхіми, діаметра судинних пучків, кількості і діаметра смоляних каналів, щільності та розмірів продихів. Зрізи виготовляли мікротомом, фарбували сафраніном і фастгріном. Аналіз виконували під мікроскопом Olympus CX23 за збільшення $\times 100$ – $\times 400$.

Методики відповідають загальноприйнятим стандартам анатомо-фізіологічних досліджень рослин.

Обробку даних здійснено в R (версія 4.2.1). Використано описову статистику (середнє \pm стандартна похибка), коефіцієнти кореляції Пірсона (*r*) та лінійну регресію (коефіцієнти β , R^2). Для типізації дерев за фізіолого-анатомічними по-

казниками застосовано кластерний аналіз за методом Ворда. Оцінку втрат деревини через всихання проведено за даними службових записів про санітарні рубки, наданих підприємствами за 2022–2023 рр.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Фітопатологічний стан похідних ялиників у контексті лісогосподарської деградації. Польові обстеження, виконані в гірській частині Українських Карпат, засвідчили наявність численних осередків фітопатологічного ураження похідних ялиників. Зокрема, активне поширення *A. mellea* зафіксовано на території Жадівського та Славецького лісництв. За результатами діагностичних процедур, кореневими гнилями вражено 971,55 га, що становить близько 85% загальної площі обстежених ділянок. З цієї площі 145,65 га (15%) мали слабкий ступінь ураження, 252,6 га (26%) — середній, а 573,2 га (59%) — високий ступінь розвитку патологічного процесу. Особливо критичною є ситуація у середньовікових насадженнях (віком 39–45 років), де масове інфікування *H. annosum* та *A. mellea* сягає в середньому 32%, а на окремих ділянках — до 49%.

Категоріальний аналіз стану дерев *P. abies* на пробних площах підтвердив значний рівень пригнічення: ослабленість дерев фіксувалася в межах 18–22%, сильне ослаблення — 25–67, тоді як частка життєздатних дерев без ознак деградації становила лише 8–66%. У всіх обстежених ділянках виявлено свіжий сухостій (2–33%), старий сухостій (2–55) та дерева в процесі всихання (3–37%), що свідчить про активну динаміку розвитку фітопатологічного процесу. Для більшості насаджень старших вікових груп характерні порушення зімкненості крон, наявність прогалів і нерівномірна повнота. Ймовірним тригером активізації збудників корневих гнилей є прорідження густих деревостанів, що супроводжується утворенням великої кількості свіжих пнів і механічних пошкоджень стовбурів — сприятливого субстрату для колонізації грибів. Деструктивні зміни на

пнях, спричинені *H. annosum* (центральні гнилі) та *A. mellea* (периферичні враження), постають важливими діагностичними критеріями для виявлення активних осередків інфекції, особливо на ділянках, де здійснювались доглядові або санітарні рубки.

Серед додаткових чинників деградації насаджень варто виокремити вітровали, вітроломи та спалахи чисельності стовбурових шкідників. У поєднанні з фітопатогенами ці чинники формують синергічний стресовий комплекс, який пришвидшує втрату біопродуктивності та екологічної стійкості деревостанів. З метою стримування поширення інфекції, у межах ДП «Сторожинецьке ЛГ» було проведено суцільні санітарні рубки на площі 191,6 га з вилученням 48 498 м³ деревини, зокрема 20 538 м³ (42%) ділової та 27 960 м³ (58%) дров'яної. У ДП «Берегометське ЛМГ» у 2005 р. аналогічні заходи охопили 265,2 га з вибіркою 14 237 м³ деревини, з яких 6279 м³ (44%) – ділова та 7958 м³ (56%) – дров'яна. Втрати ділової деревини через ураження кореневими гнилями сягали 1657 м³ у ДП «Сторожинецьке ЛГ» і 976 м³ – у ДП «Берегометське ЛМГ».

Отримані результати вказують на системну деградацію похідних ялиників, зумовлену поєднаною дією біотичних і антропогенних чинників. Це підкреслює необхідність перегляду лісгосподарських практик, посилення фітосанітарного моніторингу та впровадження адаптивних стратегій реконструкції насаджень з урахуванням типологічної структури, екологічної пластичності деревних порід і прогнозованих змін клімату.

Морфологіологічні характеристики хвої *P. abies* L. Морфометричні параметри хвої, зокрема довжина пагонів, довжина та кількість хвої на одиницю довжини пагона, можуть бути чутливими індикаторами фізіологічного стану дерев та відповідати на стресові впливи середовища. З метою аналізу просторових відмінностей і потенційного впливу деградаційних чинників було виконано графічну інтерпретацію змін морфометричних показників у різних ділянках спостереження.

Рис. 1 ілюструє графічну інтерпретацію морфометричних параметрів хвої *Picea abies* за різними варіантами впливу. Зокрема аналізувались довжина пагонів, довжина хвої та кількість хвої на одини-

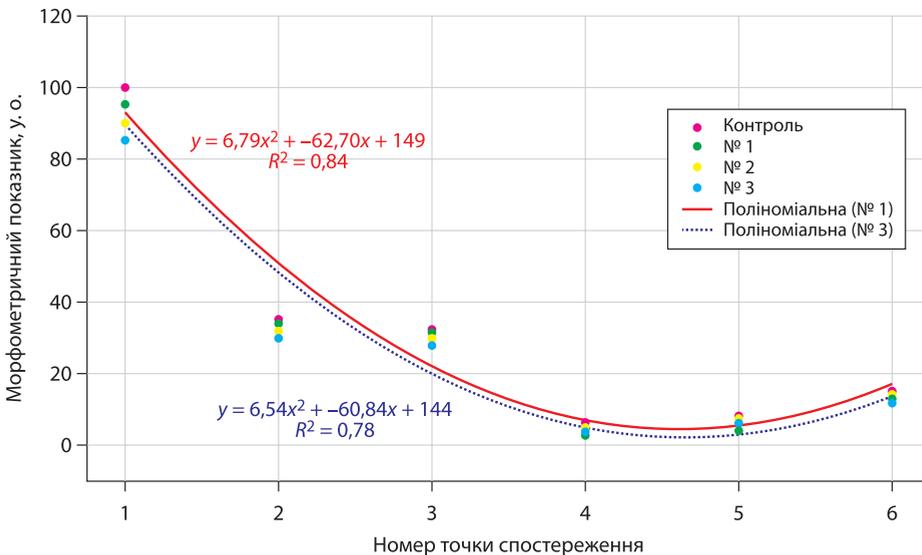


Рис. 1. Графічна інтерпретація показників хвої *P. abies* L.

цю довжини пагона. Найвищі значення спостерігалися у варіанті № 1, де довжина пагонів та хвої перевищувала контрольні показники, що свідчить про виражену реакцію на відповідний вплив. У варіантах № 2 і № 3 зафіксовано істотне зниження цих показників, особливо у № 3, де тренд зміни параметрів описується поліноміальним рівнянням другого порядку з коефіцієнтом детермінації $R^2=0,7774$, що вказує на високу узгодженість моделі з емпіричними даними. У варіантах із більшим значенням R^2 (наприклад, № 1 з $R^2=0,8363$) простежується чітка тенденція зменшення параметрів із мінімумом на середніх значеннях і незначним зростанням у подальших точках, що може бути пов'язано з адаптаційною реакцією хвої. Дані пояснюють про вплив експериментальних чинників на морфогенез пагонів і структуру хвої, що має важливе значення для біоіндикаційної оцінки стану ялинових насаджень.

Дослідження вмісту води у хвої показало достовірне зростання цього показника в усіх дослідних варіантах. Це може бути пов'язано з порушенням транспірації, водного обміну або деградацією продохів і клітинних структур. Виявлені негативні кореляції між вмістом води та біомасою хвої ($r \approx -0,60 \dots -0,65$) підтверджують гіпотезу щодо водного стресу як одного з провідних чинників зниження фізіологічної активності дерев (табл. 1).

Кореляційний аналіз засвідчив тісні позитивні зв'язки між довжиною хвої та біомасою ($r=0,99$ для сирої та $r=0,93$ для

сухої), що підкреслює її значення як надійного предиктора продуктивності.

Регресійна модель зафіксувала лінійну залежність між довжиною хвої та сухою біомасою ($R^2=0,87$), що свідчить про високу пояснювальну здатність цієї змінної. Кількість хвої на 10 см пагона мала помірно негативну кореляцію з вмістом води ($r=-0,42$), ймовірно, відображаючи компенсаторне накопичення вологи за умов зменшення густоти фотосинтетичних органів. Водночас, довжина пагонів виявила виражену негативну залежність від кількості хвої ($r=-0,83$), що, можливо, пояснює зниження фотосинтетичної ефективності через зменшення щільності хвої на подовжених пагонах.

Кластерний аналіз морфометричних показників, біомаси та вмісту води дав можливість виокремити дві групи дерев: першу — із пониженою біомасою (варіанти № 1 і № 2) та другу — контроль і варіант № 3, які демонстрували показники, наближені до нормативних. Це свідчить про гетерогенність фізіологічного стану дерев у межах одного лісового масиву та підтверджує доцільність використання морфометричних параметрів хвої для оцінювання ступеня ураження.

Проведений кластерний аналіз дав змогу виділити дві групи дерев: перша характеризується зниженими показниками біомаси (варіанти № 1 і № 2), друга — контроль і варіант № 3 — має значення, наближені до нормативних. Це свідчить про гетерогенність фізіологічного стану дерев

Таблиця 1. Кореляційна матриця між морфометричними показниками та фізіологічними показниками хвої *P. abies* L.

Параметри	ДХ	КХ	Б _{сира}	Б _{суха}	ВВ
ДХ		0,45	0,99	0,93	-0,60
КХ	0,45		0,73	0,72	-0,42
Б _{сира}	0,99	0,73		0,98	-0,65
Б _{суха}	0,93	0,72	0,98		-0,65
ВВ	-0,60	-0,42	-0,65	-0,65	

Примітки: ДХ — довжина хвої, см; КХ — кількість хвої на 10 см пагона, шт.; Б_{сира} — сира біомаса, г/хвою; Б_{суха} — суха біомаса, мг/хвою; ВВ — вміст води, г/хвою.

у межах одного лісового кварталу та пояснює ефективність морфометричних показників для диференціації ступеня враження насаджень. Тому, зниження біомаси хвої *P. abies* у поєднанні з підвищенням вологості вказує на порушення фотосинтетичної активності, транспірації та енергетичного обміну в ушкоджених деревах. Ці зміни можуть розглядатися як маркери стресового стану, що є особливо актуальним для систем раннього екологічного моніторингу.

Отже, поєднання зниження біомаси хвої *P. abies* із підвищенням вологості пояснює порушення фотосинтетичної активності, транспіраційного режиму та енергетичного обміну в ушкоджених деревах. Отримані результати дають змогу розглядати ці зміни як ранні маркери стресового стану, що є важливими для цілей екологічного моніторингу.

Вміст фотосинтетичних пігментів та анатомічні особливості хвої *P. abies* L. Фотосинтетичні пігменти, насамперед хлорофіли *a* і *b* та каротиноїди, є чутливими індикаторами функціонального стану хвої, оскільки безпосередньо залучені до процесів фотосинтезу й захисту від оксидативного стресу. У результаті дослідження встановлено, що у всіх варіантах спостерігалось переважання хлорофілу *a* над хлорофілом *b*, що є типовим для здорових фотосинтезувальних тканин. Водночас, у варіанті № 2 відзначено зниження концентрації хлорофілу *a*, що може свідчити про зменшення фотосинтетичної ефективності. Натомість у варіанті № 1 досліджували підвищення вмісту хлорофілу *b*, що, ймовірно, є адаптивною відповіддю на зміну освітленості або дію стресових чинників. Зміна співвідношення хлорофілів інтерпретується як ознака перебудови світлозбиральних комплексів у межах фотосистем.

Вміст каротиноїдів залишався стабільним у межах контрольних значень, що свідчить про ефективну дію антиоксидантної системи або відсутність критичного рівня оксидативного стресу. Подібні тенденції спостерігалися і у дворічній хвої: хлорофіл *a* був відносно стабільним, тоді як підвищення хлорофілу *b* у варіанті № 1 вказує

на активацію адаптивних механізмів. Незмінний рівень каротиноїдів додатково підтверджує стабільність пігментного профілю в умовах хронічного стресу.

Тому, зміни у пігментному складі хвої *P. abies* фіксують збереження функціональності фотосинтетичного апарату, що досягається за рахунок адаптивної перебудови структури фотосинтетичних комплексів. Це дає можливість деревам частково компенсувати вплив стресових чинників навіть за умов зниження загальної біомаси.

Анатомічні особливості хвої дерев *P. abies* L. із симптомами всихання. Анатомічна будова хвої є інформативним показником функціонального стану хвойних дерев, здатним відображати фізіолого-біохімічні зрушення, зумовлені дією абіотичних і біотичних стресорів. У межах дослідження порівнювалися анатомічні параметри хвої дерев *P. abies* з ознаками всихання з контрольними зразками (рис. 2). Встановлено, що ширина поперечного перерізу хвої ушкоджених дерев достовірно перевищує аналогічні значення в контролі, що свідчить про її сплюснення — ймовірно, як адаптивну реакцію на зміну екологічних умов. Інші анатомічні характеристики, зокрема товщина паренхіми та діаметр провідного пучка, істотно не змінювалися.

Продиховий апарат. Продихи є ключовими елементами регуляції газообміну й водного балансу рослин. Морфометричний аналіз показників продихового апарату (кількість, довжина, ширина) не виявив достовірних відмінностей між контрольними та ушкодженими деревами (табл. 2), що свідчить про збереження функціональності цієї структури навіть у стресових умовах. Отримані результати узгоджуються з сучасними даними про високу адаптивність продихових механізмів на ранніх етапах деградації.

Смоляні канали відіграють важливу захисну функцію в хвойних рослин, зокрема в індукції реакції на дію патогенів та комах-ксилофагів. Виявлено статистично достовірне зниження їх кількості у хвої дерев із симптомами всихання (у 1,5–2 рази), водночас діаметр каналів залишався на

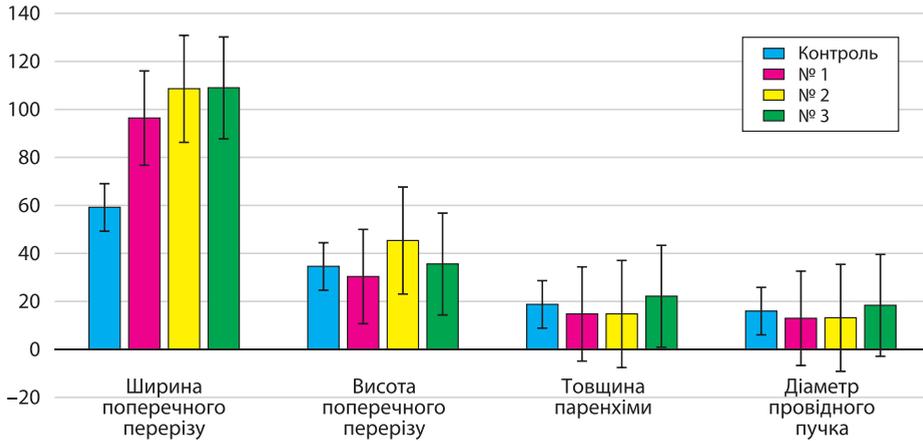


Рис. 2. Анатомічні параметри хвої дерев *Picea abies* L., мкм

рівні контрольного значення (табл. 3). Зменшення кількості каналів може вказувати на ослаблення резинуотворювальної здатності дерева або порушення регуляторних механізмів секреції живиці, що підвищує вразливість до біотичних агентів. З огляду на те, що кількість смоляних каналів є стійкою анатомічною та селекційною ознакою, її можна застосовувати як діагностичний критерій у біоіндикаційних дослідженнях.

Комплексна оцінка морфометричних, фізіологічних та анатомічних характеристик хвої *P. abies* L. дає можливість встановити закономірності деградаційних змін під впливом стресових чинників. Поєднання зменшення сирої й сухої біомаси з підвищенням вмісту води в хвої інтерпретується як прояв порушень транспірації, фотосинтезу й енергетичного обміну [30–32]. Наявність статистично значущих кореляцій між довжиною хвої, її біомасою та вмістом води підтверджує доцільність використання цих показників для діагностики фізіологічного стану дерев.

Особливо інформативним показником виявилася довжина хвої, яка демонструє тійший зв'язок із сухою біомасою ($R^2=0,87$), що дає підстави розглядати її як предиктор асиміляційної активності деревостанів. Дослідження фотосинтетичних пігментів не виявили істотних змін у вмісті хлорофілу *a*

Таблиця 2. Морфометрія продохів хвої *Picea abies* L.

Пункти	Кількість, шт./поле зору	Довжина, мкм	Ширина, мкм
Контроль	2,60±0,21	2,34±0,21	2,14±0,16
№ 1	2,25±0,20	1,90±0,20	1,47±0,13
№ 2	3,00±0,30	2,88±0,25	1,84±0,17
№ 3	2,50±0,20	2,30±0,20	1,18±0,10

Таблиця 3. Характеристика смоляних каналів хвої ушкоджених дерев *Picea abies* L.

Пункти	Кількість, шт./хвою	Діаметр, мкм
Контроль	7,40±0,48	2,34±0,20
№ 1	3,80±0,34 *	2,60±0,24
№ 2	3,20±0,30 *	2,70±0,28
№ 3	4,00±0,30 *	2,14±0,19

Примітка: * – вірогідна відмінність від контролю ($P<0,05$).

і каротиноїдів, натомість спостерігалася збільшення частки хлорофілу *b* у варіантах із ознаками пошкодження. Це може свідчити про адаптивну перебудову світлозбиральних комплексів у відповідь на зміну освітленості або вплив стресу. Анатомічні

зміни, зокрема сплюснення хвої та зменшення кількості смоляних каналів, підтверджують активацію адаптаційних механізмів і поступове виснаження захисних ресурсів. Збереження стабільного стану продигового апарату вказує на функціональну активність базових фізіологічних процесів на ранніх стадіях всихання.

Отже, морфометричні, фізіолого-біохімічні та анатомічні параметри хвої *Picea abies* є високочутливими індикаторами екологічного стресу та можуть бути інтегровані в систему раннього попереджувального моніторингу стану ялиників у Карпатському регіоні.

ВИСНОВКИ

Дослідження підтверджує значне поширення фітопатологічних уражень по-

хідних ялиників у Карпатському регіоні, зокрема, домінування коренових гнилей, спричинених *A. mellea* та *H. annosum*. Морфологічні показники хвої (довжина, щільність, біомаса) та її водний вміст є чутливими індикаторами стресового стану дерев. Встановлено кореляції між цими параметрами, що дає змогу використовувати їх у системі біоіндикації. Порушення фотосинтетичної активності, змінений баланс пігментів та зниження щільності смоляних каналів в ушкоджених деревах свідчать про комплексну фізіологічну дестабілізацію деревостану. Виявлено потенціал застосування морфометричних і біохімічних характеристик хвої для ранньої діагностики екосистемної нестійкості та моніторингу лісових угруповань у змінених кліматичних умовах.

ЛІТЕРАТУРА

- Hlásny, T., Barka, I., & Kulla, L. (2021). Bark beetle outbreaks in Europe: A consistent response to climate change? *Forests*, 12(5), 704. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12050704>.
- Nedilka, U., Krachan, T., Myalkovsky, R., Horodyska, O., & Potapskyi, Yu. (2024). Ecological aspects of climate change impact on tree species in forest ecosystems. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 15(4), 90–107. DOI: <https://doi.org/10.31548/forest/4.2024.90>.
- Ali, A. (2023). Linking forest ecosystem processes, functions and services under integrative social-ecological research agenda: Current knowledge and perspectives. *Science of the Total Environment*, 892, Article 164768. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164768>.
- Chivulescu, S., Cadar, N., Napa, M., Capalb, F., Radu, R. G., & Badea, O. (2023). The necessity of maintaining the resilience of peri-urban forests to secure environmental and ecological balance: A case study of forest stands located on the Romanian sector of the Pannonian plain. *Diversity*, 15(3), Article 380. DOI: <https://doi.org/10.3390/d15030380>.
- Шпарик, О. В. (2019). Еколого-лісівничі аспекти трансформації ялиників Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 29(4), 89–94.
- Білас, І. Ю., & Пиріг, М. М. (2021). Вплив кліматичних змін на ріст і продуктивність деревостанів Полісся. *Лісівництво і агролісомеліорація*, (139), 22–28.
- Крамар, О. В., & Шевчук, Ю. М. (2022). Фітопатологічна оцінка деградації смерекових лісів Карпатського регіону. *Карпатський екологічний журнал*, 13(1), 35–42.
- Бородавка, Н. О., & Гордієнко, І. П. (2020). Прос-
торові особливості всихання вільхових лісів у межах українського Полісся. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 18(2), 145–152.
- Hlásny, T., Barka, I., & Seidl, R. (2021). Integrated strategies to manage forest disturbances in the face of climate change: The example of spruce forests in Central Europe. *Forest Ecology and Management*, 482, 118850. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118850>.
- Marušák, R., & Cudlín, P. (2020). Impact of bark beetle outbreaks on ecosystem services in mountain spruce forests: A case study from the Czech Republic. *Sustainability*, 12(9), 3891. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12093891>.
- Netherer, S., Matthews, B., Katzensteiner, K., Blackwell, E., Henschke, P., Hietz, P., ... Pennerstorfer, J. (2019). Do water-limiting conditions predispose Norway spruce to bark beetle attack? *New Phytologist*, 220(2), 532–546. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15377>.
- Jactel, H., Koricheva, J., & Castagneyrol, B. (2019). Responses of forest insect pests to climate change: not so simple. *Current Opinion in Insect Science*, 35, 103–108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.07.010>.
- Державне агентство лісових ресурсів України. (2024). *Звіт про санітарний стан лісів України* (станом на 01.07.2024 р.). URL: <https://forest.gov.ua>.
- De Frenne, P., Zellweger, F., & Rodríguez-Sánchez, F. (2021). Forest microclimates and climate change: Importance, drivers and future research agenda. *Global Change Biology*, 27(11), 2279–2297. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.15569>.
- Soloviy, I., & Cebulska, M. (2020). Forest decline in Ukraine: Current trends and spatial patterns. *Eco-*

- logical Engineering and Environment Protection*, 2, 35–44.
16. Soloviy, I. P., Deyneka, A., & Lakyda, P. (2022). Forest ecosystem vulnerability in Ukraine under climate change: Regional trends and challenges. *Ukrainian Journal of Ecology*, 12(3), 75–83. DOI: https://doi.org/10.15421/2022_134.
 17. Мудрак, О. В., & Морозова, Т. В. (2024). Вплив екологічних криз на функціональний стан *Picea abies* (L.) Karst. у мікрокосмах. *Агроекологічний журнал*, 4, 33–43. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2024.317144>.
 18. Hlásny, T., Turčáni, M., & Konôpka, B. (2017). Bark beetle outbreaks in Norway spruce forests of Central Europe: A review of causes, impacts and management strategies. *Forest Ecology and Management*, 396, 47–67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.03.056>.
 19. Hlásny, T., Turčáni, M., Holuša, J., Sitková, Z., & Bucha, T. (2017). Bark beetle outbreaks in European spruce forests: Drivers, impacts and management responses. In F. Lieutier (Ed.), *Forest pest and disease management in a changing climate* (pp. 209–232).
 20. Коваленко, А. О. (2022). Лісові монокультури в умовах змін клімату: адаптивне лісовідновлення. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 141, 78–84.
 21. Ministry of Energy of Ukraine. (2023). *Annual report on forest management activities*. Kyiv.
 22. ДСПУ. (2016). *Санітарні правила в лісах України*. Київ: Міністерство аграрної політики та продовольства України.
 23. Kovalyshyn, V., Fedorko, M., Korytnyi, A., & Dovhaliuk, O. (2021). *Assessment of tree condition in forest stands*. Lviv: UkrNDILGA.
 24. Коваленко, В. А. (2022). Монокультурні насадження: вразливість і напрями реабілітації. *Лісове господарство і агролісомеліорація*, 140(1), 34–42.
 25. Ковальчук, О. С. (2020). Просторові закономірності деградації вільхових лісів Полісся. *Український ботанічний журнал*, 77(6), 568–577. DOI: <https://doi.org/10.15407/ukrbotj77.06.568>.
 26. Ковальчук, О. І. (2020). Динаміка вільхових насаджень Полісся в умовах зміни водного режиму. *Науковий вісник НЛТУ України*, 30(5), 45–51.
 27. Millar, C. I., & Stephenson, N. L. (2015). Temperate forest health in an era of emerging megadisturbance. *Science*, 349(6250), 823–826. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aaa9933>.
 28. Trumbore, S., Brando, P., & Hartmann, H. (2015). Forest health and global change. *Science*, 349(6250), 814–818. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aac6759>.
 29. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES Secretariat. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>.
 30. Державне агентство лісових ресурсів України. (2024). *Стан лісового господарства України*. URL: <https://forest.gov.ua>.
 31. Lawson, T., & Violet-Chabrand, S. (2019). Speedy stomata, photosynthesis and plant water use efficiency. *New Phytologist*, 221(1), 93–98. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15330>.
 32. Kulbanska, I. M., Plikhtyak, P. P., Shvets, M. V., Soroka, M. I., & Goychuk, A. F. (2022). *Lelliottia nimipressuralis* (Carter 1945) Brady et al. 2013 as the causative agent of bacterial wetwood disease of common silver fir (*Abies alba* Mill.). *Folia Forestalia Polonica*, 64(3), 173–183. DOI: <https://doi.org/10.2478/ffp-2022-0017>.

Стаття надійшла до редакції журналу 13.02.2024

ОНТОГЕНЕТИЧНО-ПОПУЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗ *SINAPIS ARVENSIS* L. В АГРОЦЕНОЗАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

В.І. Стародуб, Є.Д. Ткач

Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: myrzavica88@ukr.net; ORCID: 0000-0003-3883-9453
e-mail: bio_eco@ukr.net; ORCID: 0000-0002-0666-1956

У статті представлено результати детального онтогенетично-популяційного аналізу адвентивного виду *Sinapis arvensis* L. (гірчиця польова) широко розповсюдженого в агроценозах польових культур Правобережного Лісостепу України. Дослідження проводились на території приватних фермерських господарств Одеської та Вінницької обл., що характеризувались інтенсивним веденням землеробства. Адвентивний вид умовно визначено як модельний, завдяки його високому сегетальному потенціалу, що підтверджено значними показниками рясності, проективного покриття та частотою трапляння виду в цих агроценозах. Аналіз вікової структури виявив, що популяції *S. arvensis* L. характеризуються високою щільністю особин та формуванням повночленних правосторонніх спектрів онтогенетичних станів. Це свідчить про присутність усіх вікових груп (від проростків до генеративних та старіючих особин), що забезпечує стабільність та ефективне відтворення популяції в умовах антропогенно трансформованих ландшафтів. За класифікацією «дельта-омега» (Δ/ω) визначено, що популяції *Sinapis arvensis* L. належать переважно до молодих та зріючих типів. Упродовж багаторічного дослідження (2013–2024 рр.) спостерігалось «омолодження» популяції в агроценозах озимих зернових (пшениці озимої, ячменю озимого) та олійних (ріпаку озимого), тоді як у посівах соняшника та кукурудзи їхній тип залишався молодим. Натомість в агроценозах буряків цукрових зафіксовано перехід популяції від зрілої стадії до молоді та навпаки від молоді до зрілої залежно від господарства, що вказує на екологічну пластичність виду та його адаптацію до різних агротехнологій та можна стверджувати про формування більш стабільних угруповань, що здатні до самовідтворення. Ця визначена динамічність онтогенетичної структури популяції підкреслює високу конкурентоспроможність та здатність *S. arvensis* L. до ефективної самопідтримки чисельності. Отримані результати мають фундаментальне значення для розуміння біоекології інвазійних видів та є науковою основою для розробки ефективних інтегрованих систем контролю поширення гірчиці польової, спрямованих на мінімізацію її негативного впливу на продуктивність сільськогосподарських культур в умовах інтенсивного землеробства України.

Ключові слова: агрофітоценоз, ценопопуляція, вікова структура, адвентивний вид, інвазійність, натуралізація, класифікація дельта-омега, інтегрована система захисту.

ВСТУП

Поширення адвентивних видів рослин є однією з найактуальніших екологічних проблем сучасності глобального масштабу. Для України це питання має особливе значення, адже інтенсивна антропогенна діяльність та історично сформовані шляхи обміну біологічними ресурсами створили ідеальні умови для інвазій.

Процес занесення адвентивних видів, відомий як фітоінвазія, не лише загрожує

біорізноманіттю природних та агроеко-систем, а й спричиняє значні економічні втрати й соціальні виклики, які пов'язані з негативним впливом на здоров'я людини та сталість аграрного сектору.

У сучасному світі адвентивні види рослин є об'єктом пильного фітосанітарного та екологічного моніторингу з подальшим контролем їх чисельності. Це зумовлено тим, що їхнє поширення призводить до так званого «флористичного забруднення території», що потенційно може знижу-

вати біологічне різноманіття, витісняючи місцеві (аборигенні) види рослин. Однак, за занесення «нового» виду на певну територію (ареал) відбувається збільшення біологічного різноманіття за рахунок таких видів рослин. Наукові публікації авторів [1; 2] підтверджують, що збитки, завдані адвентивними видами рослин сільському господарству, є співмірними зі збитками від шкідників, хвороб та інших негативних чинників.

Незважаючи на значне вивчення адвентивних видів рослин, досі залишаються актуальними питання щодо структури, складу, динаміки та адаптаційних можливостей популяцій адвентивних видів рослин, територія поширення яких невпинно зростає з року в рік [3].

З огляду на зазначену проблематику та недостатнє вивчення довгострокової динаміки популяцій адвентивних видів в умовах інтенсивного землеробства України, **метою цієї роботи** було провести комплексний аналіз адвентивного виду *Sinapis arvensis* L. за його онтогенетично-популяційною структурою в агроценозах Правобережного Лісостепу України. Це дасть можливість оцінити адаптивні стратегії виду та розробити науково обґрунтовані підходи до регулювання його чисельності.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідження онтогенетичної та популяційної структури рослин є фундаментальним напрямом екології, який отримав значний розвиток у працях багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців. Ця проблематика набуває особливої актуальності в контексті вивчення адвентивних (заносних) видів, здатність яких до успішної інвазії та натуралізації безпосередньо залежить від особливостей їхньої популяційної біології. Серед українських дослідників, що зробили вагомий внесок у цю сферу, слід відзначити наукову школу Ю.А. Злобіна, а також праці В.В. Протопопової та Я.П. Дідуха [4–6], які системно вивчають адвентивну флору України та її вплив на екосистеми.

Здатність адвентивних видів до утворення стійких місцевих популяцій, ефективно адаптованих до нових абіотичних, біотичних та антропогенних чинників, становить значний інтерес як для теоретичної, так і для прикладної екології. Заносний вид, що в процесі адаптації набуває здатності формувати популяції з широким віковим спектром, тобто з представництвом усіх або більшості онтогенетичних станів, отримує істотні переваги над видами з вузькою онтогенетичною амплітудою. Така популяційна стратегія забезпечує його успішну інвазію, натуралізацію та ефективне поширення в нових ареалах.

Вивчення особливостей онтогенезу та структури ценопопуляцій є ключовим для об'єктивної оцінки стану популяцій адвентивних видів. Цей підхід допомагає не лише визначити їхнє процвітання або пригнічення у конкретному місцезростанні, а й встановити їхній екологічний та інвазійний потенціал. Для адвентивних видів саме онтогенетична структура має першочергове значення для прогнозування їхнього подальшого поширення та можливого впливу на аборигенні фітоценози.

Наразі онтогенетична структура визнається фундаментальним аспектом внутрішньопопуляційної організації, що відрізняється серед інших її характеристик — генетичної, статевої, вікової, віталітетної та розмірної [4]. Її функціональне значення полягає у відображенні кількісного співвідношення особин різних онтогенетичних станів, що дає змогу оцінити динаміку зміни поколінь та передбачити життєздатність популяції в умовах постійних екологічних трансформацій. Саме від цієї структурної характеристики безпосередньо залежить здатність популяції до автономного функціонування (самопідтримання) та її стійкість до стресових чинників середовища, включаючи значне антропогенне навантаження, що особливо актуально для агроєкосистем. Поточний стан онтогенетичної структури також слугує важливим показником фази розвитку популяції та її подальших перспектив, визначаючи її роль у формуванні біологічного різноманіття та функціонуванні екосистем.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження здійснювали на території приватних фермерських господарств Одеської та Вінницької обл. України, які розташовані в межах Правобережного Лісостепу. Ця зона характеризується помірно континентальним кліматом, достатнім рівнем зволоження та родючими чорноземними ґрунтами, що створює сприятливі умови для інтенсивного землеробства та, водночас, відбувається потенційно високий тиск адвентивних видів на агроценози. Період досліджень — 2013–2024 рр., що дало змогу проаналізувати багаторічну динаміку популяцій адвентивного виду *Sinapis arvensis* L. Польові дослідження проводились у різних типах агроценозів, що охоплювали основні сільськогосподарські культури регіону: пшеницю озиму, ячмінь озимий, ріпак озимий, соняшник, кукурудзу та буряк цукровий.

Камеральна обробка зібраного польового матеріалу була критично важливою для точної ідентифікації таксономічної структури сеgetальної флори, з особливим акцентом на адвентивні види. Для цього застосовувались загально визнані та авторитетні ботанічні визначники. Основним джерелом було багатомне видання «Екофлора України» [6], яке забезпечує детальні морфологічні описи та ареали поширення адвентивних видів. Додатково використовувались спеціалізовані визначники П.М. Косолапа та О.О. Іващенко [7; 8], що зосереджуються на ідентифікації та екологічних особливостях сеgetальних та адвентивних видів рослин в агроценозах України. Такий підхід забезпечив високий рівень достовірності таксономічної ідентифікації [7–9].

Для поглибленого дослідження адвентивних видів обрано *Sinapis arvensis* L. як модельний вид. Цей вибір обґрунтований його великим сеgetальним потенціалом, що проявляється у значній частоті трапляння та високій рясності в більшості досліджуваних агроценозів. *S. arvensis* L. є показовим прикладом бур'яну, який успішно адаптується до антропогенно трансформо-

ваних сільськогосподарських ландшафтів. Онтогенетично-популяційний аналіз був застосований як основний метод, оскільки він допомагає комплексно оцінити адаптаційний потенціал виду, його конкурентоспроможність та стратегії виживання в умовах постійного антропогенного впливу, що є ключовим для розуміння інвазійних процесів.

Для забезпечення репрезентативності даних на типових ділянках агроценозів закладались трансекти розміром 5×20 м. Кожна трансекта поділялась на квадрати площею 25 м², що є оптимальним для детального обліку рослинності в умовах агроценозів. У межах кожного квадрата проводився облік, а саме: фіксація всіх видів рослин, що траплялись в агроценозах, для оцінки фітоценотичного середовища; детальний облік кількості особин модельного виду *S. arvensis* L. з диференціацією за різними онтогенетичними (віковими) станами. Це дало можливість побудувати вікові спектри популяцій. Оцінка проективного покриття кожного виду та загального покриття для визначення домінування та конкурентних взаємодій. Візуальна оцінка, що відображає ступінь покриття ґрунту рослинністю та вплив на його структуру. Обліки здійснювались систематично, тричі за вегетаційний період сільськогосподарських культур (як правило, на початкових, середніх і пізніх фазах розвитку), що допомогало простежити динаміку популяцій та їхню реакцію на агроекологічні чинники.

Життєвість *S. arvensis* L. оцінювалась візуально за ступенем розвитку їхніх надземних органів (розмір, розвиток листків, стебла, генеративних органів тощо). Хоча візуальна оцінка має певну суб'єктивність, її перевагами є оперативність та можливість інтегрального визначення фізіологічного стану рослин за комплексом морфологічних ознак у польових умовах. Для забезпечення достовірності результатів, спостереження проводились упродовж усього періоду вегетації з чітко визначеною періодичністю, що мінімізувало вплив тимчасових абіотичних та біотичних чинників на оцінку життєвості. Типізація популя-

цій за онтогенетичними спектрами базувалась на класичних підходах Т.О. Работнова (1950), О.О. Уранова та О.В. Смирнової (1969), які є основоположними популяційної екології рослин [10].

Для кількісної оцінки онтогенетично-популяційної структури застосовувалась класифікація «дельта-омега», запропонована Л.А. Животовським. Ця класифікація є потужним інструментом для аналізу вікового розподілу популяцій та визначення їхнього стану. Вона ґрунтується на обчисленні двох ключових індексів — це індекс Δ (дельта) — характеризує середній вік популяції, відображаючи частку молодих особин та індекс ω (омега) — виявляє частку старих особин та вказує на ефективність відтворення та старіння популяції. Обчислення цих індексів проводилось на основі повного вікового розподілу особин популяції, від сходів до стадій масового цвітіння та плодоношення. Типізація популяцій (молоді, перехідні, зріючі, зрілі, старіючі, старі) відбувалась на базі онтогенетичного стану, в якому спостерігався абсолютний максимум вікового розподілу виду (g_1 — молоді генеративні, g_2 — середні генеративні, g_3 — старі генеративні особини), згідно з такими критеріями за Животовським:

молоді:	$\Delta < 0,35, \omega < 0,60;$
перехідні:	$0,35 < \Delta < 0,70;$
зріючі:	$\Delta < 0,35, \omega > 0,60;$
зрілі:	$0,35 < \Delta < 0,55, \omega > 0,70;$
старіючі:	$\Delta > 0,55, \omega > 0,60;$
старі:	$\Delta > 0,55, \omega < 0,60.$

Такий детальний онтогенетично-популяційний аналіз дав змогу отримати об'єктивні характеристики популяції *Sinapis arvensis* L. та визначити їхню класифікацію за вищезазначеною шкалою [10–12].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Sinapis arvensis L. (гірчиця польова) є поширеним адвентивним видом, що зустрічається в різноманітних рослинних угрупованнях на території України. Її можливість колонізувати різні біотопи, включаючи агроценози польових культур, лісосмуги,

луки й узбіччя доріг, свідчить про високу екологічну пластичність популяцій та їхню успішну адаптацію до різних умов середовища.

Біологічні особливості *S. arvensis* L. прямо зумовлюють високу інвазійну здатність тим самим визначають її статус адвентивності виду. Належність до однорічних рослин (терофітів) допомагає популяціям *S. arvensis* L. швидко завершувати життєвий цикл та ефективно генерувати нові покоління за допомогою насіння впродовж короткого вегетаційного періоду. Ця стратегія репродукції є ключовою для адаптації популяцій виду до динамічних умов агроценозів, де регулярна агротехнічна обробка ґрунту перешкоджає розвитку багаторічних видів, віддаючи перевагу видам зі швидким обігом поколінь. Висока репродуктивна здатність проявляється в утворенні надзвичайно великої кількості насіння, яке до того ж має високу схожість і може зберігати життєздатність у ґрунті впродовж тривалого часу (до 100 років). Це сприяє формуванню значного та стійкого насінневого банку популяцій, що є одним з основних механізмів персистенції популяцій *S. arvensis* L. в агроекосистемах та забезпечення їхнього постійного поширення та відновлення навіть після інтенсивних заходів контролю.

S. arvensis L. є типовим світлолюбним видом (геліофітом), який оптимально розвивається на відкритих, добре освітлених ділянках, що характерно для ріллі та для просапних культур. Популяції цього виду — переважно у помірно вологих умовах зростання (мезофіт). Хоча *S. arvensis* L. демонструє певну толерантність до тривалої посухи, максимальний ріст та репродуктивна продуктивність спостерігаються за умов достатнього зволоження. Незважаючи на відсутність специфічних вимог до типу ґрунту, гірчиця польова краще культивується на родючих, добре аерованих ґрунтах, що є характерним для більшості сільськогосподарських угідь. Висока конкурентоспроможність популяцій *S. arvensis* L. в агроценозах зумовлена комбінацією чинників, а саме: швидкий початковий ріст,

створюють оптимальні умови для росту багатьох видів рослин, включаючи і *S. arvensis* L., що сприяє формуванню аномально високої щільності її популяцій – у середньому від 5 до 25 особин на 1 м². Така велика щільність популяцій *S. arvensis* L. чинить значний конкурентний тиск на культурні рослини, що безпосередньо впливає на їхню продуктивність та врожайність.

У вертикальній структурі агроценозів *Sinapis arvensis* L. переважно займала середній та нижній яруси, тоді як культурні рослини, як правило, домінували у верхньому ярусі. У досліджених популяціях *S. arvensis* L. були представлені віргінільні та генеративні стани, що свідчить про активний розвиток та репродуктивний потенціал виду.

Важливо відзначити, що конкурентний тиск адвентивного виду на агроценози, особливо в період колосіння зернових культур, визначався переважно чисельністю генеративних, а в окремих випадках і субсенільних особин. Це вказує на те, що основна негативна дія *S. arvensis* L. на врожайність культур пов'язана саме з розвитком її репродуктивних фракцій, які конкурують за світло, воду та поживні речовини в критичній фазі розвитку культурних рослин.

За результатами багаторічних спостережень встановлено, що в межах свого природного ареалу популяції *S. arvensis* L. демонструють високу екологічну пластичність та значну адаптивність до різноманітних умов середовища. Це дає можливість виду успішно існувати та натуралізуватися в антропогенно змінених екосистемах, зокрема в агроландшафтах. Отже, глибоке розуміння екологічних особливостей цього виду має принципове значення для розробки ефективних методів його контролю в агроценозах та інших типах рослинних угруповань.

Аналіз даних за роки дослідження виявив, що ценопопуляції *S. arvensis* L. спочатку належали до молодого типу. Однак, у період 2017–2024 рр. було зафіксовано тенденцію до збільшення коефіцієнтів Δ (дельта) та ω (омега). Така зміна призвела до граничного положення ценопопуляцій між молодим і зрілим типом, що може свідчити про поступову стабілізацію вікової структури популяцій та їхнє наближення до зрілого стану в умовах тривалого існування в агроценозах. Така динаміка стверджує про формування стійких та самовідтворюваних популяційних систем (рис. 2).

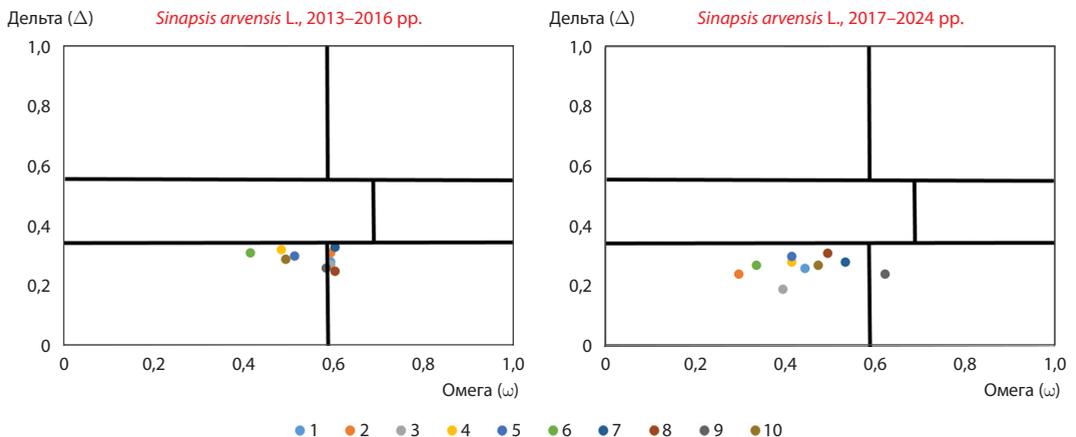


Рис. 2. Стан популяцій *Sinapis arvensis* L. за класифікацією Δ/ω

Примітки: 1 – ФГ «БОН» (пшениця озима); 2 – ФГ «БОН» (ячмінь озимий); 3 – ФГ «БОН» (ріпак озимий); 4 – ФГ «БОН» (соняшник); 5 – Одноос. гос-во (кукурудза); 6 – ФГ «Зоря Поділля» (пшениця озима); 7 – ФГ «Зоря Поділля» (кукурудза); 8 – ФГ «Зоря Поділля» (бурак цукровий); 9 – ФГ «Барабаш СВ» (пшениця озима); 10 – ФГ «Барабаш СВ» (бурак цукровий).

За багаторічним спектром онтогенетичних характеристик, зокрема за величинами індексу віковості О.О. Уранова та індексу ефективності Л.А. Животовського виявлено, що всі досліджувані популяції *S. arvensis* L. належать до числа молодих та зріючих. Це вказує на активне відновлення та розвиток популяцій, що є характерним для таких видів (табл.) [10].

Аналіз багаторічної динаміки популяцій *S. arvensis* L. за класифікацією Δ/ω визначив значні трансформації їхньої онтогенетичної структури в різних агроценозах Правобережного Лісостепу.

В агроценозах озимих зернових та ріпаку озимого спостерігалася виражена тенденція до молодих популяцій. Зокрема, на прикладі ФГ «БОН» в Одеській обл., популяція *S. arvensis* L. у посівах пшениці озимої здійснила перехід від зріючої ($\Delta/\omega=0,28/0,60$; 2013–2016 рр.) до молоді ($\Delta/\omega=0,26/0,45$; 2017–2024 рр.) стадії. Аналогічна динаміка була зафіксована в агроценозах ячменю озимого, де популяція також перейшла від зріючої ($\Delta/\omega= 0,31/0,60$; 2013–2016 рр.) до молоді ($\Delta/\omega= 0,24/$

0,30; 2017–2024 рр.) стадії. У посівах ріпаку озимого досліджувались молоді типи популяції: показники Δ/ω змінилися від 0,27/0,60 (2013–2016 рр.) до 0,19/0,48 (2017–2024 рр.). Цей перехід до молодого вікового спектра свідчить про інтенсивне відновлення популяцій, ймовірно, внаслідок постійного антропогенного тиску (обробіток ґрунту, застосування гербіцидів), який елімінує дорослі особини, але створює сприятливі умови для проростання нового насіння з ґрунтового банку.

Натомість в агроценозах соняшника популяція *S. arvensis* L. зберігала статус молоді впродовж усього періоду спостережень ($\Delta/\omega=0,32/0,49$ у 2013–2016 рр. та 0,28/0,42 у 2017–2024 рр.). Ця відносна стабільність онтогенетичної структури вказує на те, що в цих агроекологічних умовах створюються постійно сприятливі умови для інтенсивного проростання насіння та формування переважно молодих вікових груп.

У посівах кукурудзи на зерно спостерігались різноспрямовані тенденції. В умовах одноосібного господарства популяція

Основні ознаки популяції *Sinapis arvensis* L. в агроценозах Правобережного Лісостепу

Господарство/ Агроценоз	2013–2016 рр.		Тип	2017–2024 рр.		Тип
	Δ	ω		Δ	ω	
<i>ФГ «БОН»</i>						
Пшениця озима	0,28	0,60	зріюча	0,26	0,45	молода
Ячмінь озимий	0,31	0,60	зріюча	0,24	0,30	молода
Ріпак озимий	0,27	0,60	зріюча	0,19	0,48	молода
Соняшник	0,32	0,49	молода	0,28	0,42	молода
<i>Одноосібне господарство</i>						
Кукурудза	0,30	0,52	молода	0,30	0,42	молода
<i>ФГ «Зоря Поділля»</i>						
Пшениця озима	0,31	0,42	молода	0,27	0,34	молода
Кукурудза	0,33	0,51	зріюча	0,28	0,54	молода
Буряк цукровий	0,25	0,61	зріюча	0,31	0,55	молода
<i>ФГ «Барабаш СВ»</i>						
Пшениця озима	0,26	0,39	зріюча	0,24	0,63	молода
Буряк цукровий	0,29	0,50	молода	0,27	0,48	зріюча

Примітки: індекс Δ – дельта (відображає середній вік або «віковість» популяції); індекс ω – омега (відображає середню енергетичну ефективність популяції).

S. arvensis L. за весь період досліджень (2013–2024 рр.) зберігала статус молодої ($\Delta/\omega=0,30/0,52$ у 2013–2016 рр. та $0,30/0,42$ у 2017–2024 рр.). Однак, у Вінницькій обл., в агроценозах кукурудзи на зерно, зазначено перехід популяції *S. arvensis* L. від зрілого до молодого типу (від $\Delta/\omega=-0,33/0,51$ у 2013–2016 рр. до $\Delta/\omega=0,28/0,54$ у 2017–2024 рр.).

У ФГ «Зоря Поділля» відбувалася зміна показників від $\Delta/\omega=0,25/0,61$ (2013–2016 рр.) до $\Delta/\omega=0,31/0,55$ (2017–2024 рр.), що вказує на перехід популяції до зрілого типу. Це свідчить про її стабілізацію та посилення життєздатності, можливо, через менший конкурентний тиск із боку культурних рослин або особливості агротехніки, що сприяють виживанню та розвитку більшої частки дорослих особин.

Аналогічно, у ФГ «Барабаш СВ» популяція *S. arvensis* L. у посівах пшениці озимої зазнала трансформації від зрілої ($\Delta/\omega=0,26/0,39$; 2013–2016 рр.) до молодої ($\Delta/\omega=0,24/0,63$; 2017–2024 рр.) стадії. Однак у посівах буряків цукрових спостерігався перехід: від молодої ($\Delta/\omega=0,29/0,50$; 2013–2016 рр.) до зрілої ($\Delta/\omega=0,27/0,48$; 2017–2024 рр.) популяції. Ця різноспрямованість динаміки підкреслює високу адаптацію виду до специфічних умов кожного агроценозу та чутливість його популяційної структури до змін конкурентного середовища та агротехнологій.

Узагальнюючи дані встановлено, що у структурі агроценозів Правобережного Лісостепу відзначається активна адаптація популяцій *S. arvensis* L. до умов сучасного інтенсивного землеробства. Висока конкурентоспроможність цього виду обумовлена комплексом його біологічних особливостей: високою насінневою продуктивністю, широкою екологічною пластичністю та здатністю до тривалої персистенції в агроценозах за рахунок життєздатного насіння в ґрунті. Ці чинники в комплексі сприяють стабілізації популяційного стану *S. arvensis* L., що допомагає їй формувати стійкі угруповання навіть за умов постійного антропогенного впливу.

Отже, *S. arvensis* L. є показовим прикладом адвентивного виду, що здатний істотно порушувати екологічну рівновагу агроєкосистем і потребує впровадження інтегрованих стратегій контролю його поширення. Отримані дані засвідчують високу динамічність онтогенетичної структури популяції цього виду та її залежність від комплексу екологічних, фітоценотичних і антропогенних чинників популяції цього виду та її залежність від низки чинників.

ВИСНОВКИ

Здійснений онтогенетично-популяційний аналіз модельного виду *Sinapis arvensis* L. в агроценозах польових культур Правобережного Лісостепу України переконливо довів про його високий сегетальний потенціал. Завдяки широкому розповсюдженню, значній рясності та репрезентативній віковій структурі, цей адвентивний вид розглядається як модельний для подальших досліджень у галузі популяційної екології бур'янів. Аналіз ценопопуляцій *S. arvensis* L. за індексами «дельта-омега» (Δ/ω) чітко визначив їхню приналежність до молодих та зріючих типів. Ця характеристика свідчить про високу стійкість, конкурентоспроможність, ефективну самопідтримку чисельності виду в досліджуваних агроценозах. Присутність усіх вікових станів у популяціях *S. arvensis* L. є беззаперечним індикатором перебування виду в умовах екологічного та фітоценотичного оптимумів. Під час проведення дослідження виявлено динамічні зміни в онтогенетичній структурі популяцій *S. arvensis* L. упродовж багаторічних спостережень (2013–2024 рр.). Зокрема, в агроценозах пшениці озимої, ячменю озимого та ріпаку озимого спостерігався перехід ценопопуляцій від зріючих до молодих типів. Ця тенденція, ймовірно, обумовлена інтенсивним землеробством, що здійснюється в господарствах. Водночас, в агроценозах соняшника та кукурудзи популяції зберігали статус молодих, а в буряках цукрових зафіксовано перехід від молодого типу до зрілого та навпаки. Це підкреслює екологічну пластичність *S. arvensis* L. та його виняткову

здатність до адаптації до різноманітних агроекологічних умов. Тому, *S. arvensis* L. є чітким прикладом адвентивного виду, що має потенціал істотно порушувати екологічну рівновагу агроекосистем. Це зумовлює нагальну потребу в розробці та впровадженні інтегрованих стратегій контролю його поширення. Отримані дані підтвер-

джують високу динамічність онтогенетичної структури популяції цього виду та її складну залежність від комплексу екологічних, фітоценотичних і антропогенних чинників. Подальші дослідження мають бути спрямовані на поглиблення розуміння цих взаємозв'язків для розробки ефективних заходів управління.

ЛІТЕРАТУРА

1. IPBES. (2023). Summary for Policymakers of the Thematic Assessment Report on Invasive Alien Species and their Control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. In H. E. Roy, A. Pauchard, P. Stoett, T. Renard Truong, S. Bacher, B. S. Galil, P. E. Hulme, T. Ikeda, K. V. Sankaran, M. A. McGeoch, L. A. Meyerson, M. A. Nuñez, A. Ordonez, S. J. Rah-lao, E. Schwindt, H. Seebens, A. W. Sheppard, & V. Vandvik (Eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7430692>.
2. Dawson, W. (Ed.). (2023). Horizon scanning for potential invasive non- native species across the United Kingdom Overseas Territories. *Conserv. Lett.*, 16(1), e12928, 12. DOI: <https://doi.org/10.1111/conl.12928>.
3. Department of Environmental Affairs. (2020). National Environmental Management: Biodiversity Act 2004. Alien and Invasive Species Regulations. *Government Gazette*, 1020, 43735. URL: https://www.gov.za/sites/default/files/gcis_document/202009/43735rg11176gon1020.pdf.
4. Злобин, Ю. А., Скляр, В. Г., & Клименко, А. А. (2013). *Популяції рідких видів рослин: теоретическі основи і методика изучения: моногр.* Сумы: Университетская книга.
5. Протопопова, В. В., & Шевера, М. В. (2019). Ін-вазійні види у флорі України. І. Група високо ак-тивних видів. *Geo & Bio.*, 17, 116–135. DOI: <https://doi.org/10.15407/gb.2019.17.116>.
6. Дідух, Я. П. (2010). *Екофлора України.* (Т. 6). Київ: Фітосоціоцентр.
7. Косолап, М. П., Іванюк, М. Ф., Примак, І. Д., Анісімова, А. А., & Бабенко, А. І. (2022). *Атлас бур'янів: навч. посібн.* Київ.
8. Івашенко, О. О. (2018). Герботологія — пріоритети і перспективи. *Карантин і захист рослин*, 3, 2–3.
9. Starodub, V., & Tkach, E. (2016). Ontogenetic and population structure of alien species. *Agroecological journal*, 2, 144–148. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2016.249292>.
10. Шерстобоева, О. В., Ткач, Є. Д., Стародуб, В. І., Довгич, К. І., Шавріна, В. І., & Богословська, М. С. (2012). *Оцінка стану напівприродних фітоценозів агроландшафтів України: метод. реком.* Київ.
11. Романюк, Д. Л., Оптасюк, О. М., & Григорчук, І. Д. (2022). Онтогенетична структура популяції *Phalacrologium annuum* Dumort. (*Asteraceae*) на території Кам'янецького Придністров'я. *Biological systems*, 14(2), 178–186.
12. Kumschick, S., Wilson, J. R. U., & Foxcroft, L. C. (2020). A framework to support alien species regulation: The Risk Analysis for Alien Taxa (RAAT). *Neo-Biota*, 62, 213–239. DOI: <https://doi.org/10.3897/neobiota.62.51031>.

Стаття надійшла до редакції журналу 21.03.2025

ПЕРЕФОРМАТУВАННЯ ПОЛЕЗАХИСНИХ ЛІСОВИХ СМУГ КИЇВЩИНИ У ЛІНІЙНІ НАСАДЖЕННЯ ОРНО-ПОЛЬОВОГО АГРОЛІСІВНИЦТВА

В.Ю. Юхновський¹, О.М. Тупчії²

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

e-mail: yukhnov@ukr.net; ORCID: 0000-0003-3182-4347

²Державний біотехнологічний університет (м. Харків, Україна)

e-mail: olgatupnikola@ukr.net; ORCID: 0000-0002-0545-1877

Трансформація класичних лісових смуг у лінійні насадження системи орно-польового агролісівництва призводить до зміни їх параметричної структури, стану, лісових і меліоративних характеристик. Метою дослідження стало встановити стан, продуктивність та особливості розвитку полезахисних лісових смуг, створених за типовими інструктивними вказівками і реалізованими у результаті переформування. На 16 пробних площах, які закладені у 7 і 9 класичних і трансформованих лісових смугах відповідно, виконано перелік дерев за категоріями санітарного стану і класами Крафта, визначено основні лісівничо-меліоративні показники. Досліджувані насадження VI–VIII класів віку повною мірою здійснюють меліоративний вплив на міжсмуговий простір. Захисні висоти класичних лісових смуг на 2–4 м більше трансформованих насаджень, що відображається на зниженні продуктивності останніх на I–II класів бонітету. Виявлено, що всі переформатовані полезахисні насадження набули ажурної та продувної конструкції, що сприяє ефективному впливу на вітрорегулювання, меліоративний захист прилеглих територій. Індекс санітарного стану класичних і трансформованих лісових смуг коливається у межах 2,0–2,9 та 1,5–2,4, відповідно. Відсутність сухостійних дерев або їх невелика частка (до 2,6%) у трансформованих лісових смугах покращує стан цих насаджень. Про це свідчать також менші значення середньозважених класів Крафта та збільшення панівних і домінуючих дерев у трансформованих насадженнях. Встановлено зв'язок між санітарним станом насаджень і часткою дерев класів Крафта, який оптимально описується лінійними рівняннями. Використання лінійних моделей має практичне значення у визначенні санітарного стану насаджень за середньозваженим класом Крафта. Переформування класичних лісових смуг у лінійні насадження системи орно-польового агролісівництва призводить до зміни стану і розвитку насаджень, що поліпшує їх меліоративні властивості, а також збільшує частку орних земель, необхідних для вирощування сільськогосподарської продукції.

Ключові слова: агролісівництво, індекс санітарного стану, клас Крафта, конструкція, параметрична структура лісової смуги, реконструктивні рубки.

ВСТУП

Сучасний стан полезахисного лісорозведення в Україні загалом і у Київській обл., зокрема, далекий від оптимального через низку проблем, викладених у програмному документі з розвитку агролісо-меліорації в Україні [1]. До основних причин відноситься: недосконалість стратегічного планування і державного управління, відсутність правового статусу і фінансового забезпечення з утримання і відновлення лінійних насаджень, різноманіття форм

власності та кваліфікованого забезпечення з виконання лісівничих заходів.

Для захисту сільськогосподарських угідь від дефляції аграрії зарубіжжя починаючи з 80-х років XX ст. широко використовують інноваційний спосіб господарювання — агролісівництво [2–4].

На відміну від традиційного землеробства агролісівничі системи розвивають так зване змішане землеробство, в якому значну роль відіграє деревна рослинність, що в результаті надає економічні вигоди, диверсифікацію виробництва, поліпшення довкілля,

та різноманітні соціальні й екосистемні послуги [5]. У вирощуванні сільськогосподарських культур застосовують орно-польове (silvoarable) і полезахисне (windbreaks) агролісівництво. Останнє співзвучне з вітчизняними полезахисними лісовими смугами, але значно меншої ширини.

Існуючі або так звані класичні лісові смуги потребують значних витрат на лісівничі догляди, формування продувної конструкції, ефективного вітрорегулювання і снігорозподілу, поліпшення захисних властивостей, що досягається зменшенням їх ширини через розсітку узлісних рядів, а в деяких випадках їх повного видалення, і таким чином, переведення до насаджень орно-польового агролісівництва. Більше того, вивільняється площа для агровиробництва і ефективно використовуються присмугові зони. Ідея створення однодворядних лісових смуг з їх розміщенням через 100–200 м, що компенсує захист полів широкими смугами, висувалася вітчизняними агролісомеліораторами ще у 90-х роках ХХ ст. [6]. На сьогодні актуальність цього питання зростає, оскільки в умовах фермерського господарювання створення нових лісових смуг проблематично, а догляд за широкими полезахисними насадженнями для фермерів утруднюється через невизначеність на них прав власності. Тому розв'язанням цієї проблеми є трансформація існуючих лісових смуг у лінійні насадження орно-польового агролісівництва.

Трансформаційні процеси призводять як до позитивних результатів у частині поліпшення аеродинамічних властивостей, санітарного стану, так і явищ, пов'язаних із втратою низки лісівничих властивостей і стабільної структури лісової екосистеми.

Мета дослідження — встановити стан і розвиток полезахисних лісових смуг, створених за типовими інструктивними вказівками і переформатованих у системи орно-польового агролісівництва.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Лісомеліоративні насадження агроландшафтів у результаті пертинентного впливу

істотно змінюють мікрокліматичні показники навколишнього природного середовища, підвищують еколого-економічний потенціал агроекосистем, забезпечують численні екосистемні послуги, які підтверджені дослідженнями О.І. Фурдичка, А.П. Стадника, Н.Ю. Висоцької зі співавт. [7–9].

Трансформація широких полезахисних лісових смуг відбувається як природним шляхом, який включає зменшення ширини лісових смуг у результаті проведення сільськогосподарських палів і випадання узлісних рядів, так і реконструктивних рубок, розширення дорожнього полотна тощо.

Тривалий рекреаційний вплив, який зазвичай трапляється на локаціях прилеглих до населених пунктів, призводить до зменшення густоти насадження (на 27,5%), погіршення санітарного стану, зміни видового складу деревостану. Як зазначає Н.Ю. Висоцька [10], неконтрольоване спалювання сміття, сухої трави також проковує виникнення і поширення низових пожеж у захаращених лісових смугах, що послаблює санітарний стан насадження. Тому лісові смуги, які зазнали істотних рекреаційних навантажень також потребують лісовідновлювальних і реконструкційних заходів.

Ефективним прийомом трансформації лісових смуг у лінійні насадження орно-польового агролісівництва є видалення узлісних рядів реконструктивними рубками, а також рубками догляду третьої черги. Трансформація полезахисних лісових смуг у насадження вузької ширини (до 7,5 м) вносить істотні зміни у їх структуру, аеродинаміку, санітарний стан, біорізноманіття, а також мікрокліматичні показники захищених територій [4; 11].

Необхідність проведення реконструктивних рубок рекомендовано під час відтворення лісових смуг, пошкоджених унаслідок військових дій, що призвело до втрати їх захисних властивостей, деградації та відмирання. Пошкоджені полезахисні насадження дослідники Інституту агроекології і природокористування НААН, зокрема О.Ю. Чорнобров, В.А. Соломаха та

ін. [12] пропонують відтворювати за традиційними та інноваційними підходами.

Визначення загальної кількості полезахисних насаджень, їх стану і виконання ними захисних функцій відбувається у процесі лісовпорядкування, яке не проводиться в агролісомеліоративному фонді з минулого століття. Саме під час лісовпорядкування зазначаються лісомеліоративні заходи у поєднанні з основними положеннями правил утримання і збереження полезахисних лісових смуг, розташованих на землях сільськогосподарського призначення [13; 14].

Враховуючи значні витрати на лісовпорядкувальні роботи, Н.Ю. Висоцька та ін. [9] вказують на доцільність використання космічних знімків для оцінювання просторового розподілу, збереженість рядів, випадання дерев тощо. Автори провели дослідження систем полезахисних лісових смуг Херсонської обл. і встановили наявність великих просторів між лісовими смугами, які сягають до 1000 м, що унеможливує повністю захистити міжсмугові території меліоративним впливом. Водночас акцентується увага на проведенні значних обсягів лісовідновлювальних робіт зріджених насаджень [9], що досягається методом інноваційного агролісівництва — трансформацією існуючих пошкоджених полезахисних насаджень у системи орно-польового агролісівництва.

У знаковому документі «Концепція розвитку агролісомеліорації в Україні» зазначено, що «... створення захисних лісових насаджень різних просторово-цільових форм у повному обсязі забезпечить активний вплив на регіональні мікрокліматичні умови» [1]. Це співзвучно зі створенням систем орно-польового агролісівництва, яке насправді досягається переформуванням існуючих полезахисних лісових смуг.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом досліджень стали полезахисні лісові смуги (ПЛС) Білоцерківського, Фастівського, Обухівського і Бучанського

р-нів Київщини. У Київській обл. ПЛС займають 12,3 тис. га. За даними лісовпорядкування 2019 р. на землях ДП «Київоблагроліс» знаходиться 1983,8 га полезахисних лісових смуг, що становить 5,4% лісів (36663,0 га). Найбільша частка ПЛС (84,7%) розміщена у Південному агролісгоспі 1681,1 га і лише у Центральному агролісгоспі — 302,7 га.

Загальну характеристику об'єктів дослідження інтерпретує *табл. 1*, у якій представлено лісівничо-меліоративні й таксаційні показники традиційних класичних лісових смуг (КЛС) і трансформованих лісових смуг (ТЛС) у насадженнях орно-польового агролісівництва.

Всього було закладено 16 пробних площ, зокрема 7 і 9 ПП у КЛС і ТЛС відповідно. Трансформовані лісові смуги утворилися внаслідок як антропогенної, так і природної діяльності. Однією з причин зменшення ширини лісових смуг стало видалення ослаблених (ПП 2, 13), обгорілих унаслідок сільськогосподарського палу стерні (ПП 4, 7), сильно нахилених (понад 300) у сторону поля узлісних дерев (ПП 10, 11). У деяких лісових смугах встановлювали вулики, для яких також вирубували підлісок і низькорослі дерева узлісних рядів, із метою створення коридорів бджолиних маршрутів (ПП 12). Також практикувалося створення і лісових смуг дворядних (ПП 14, 16).

На пробних площах проводили суцільний перелік дерев за ступенями товщини за методиками, застосованими у лісовій таксації і лісовпорядкуванні [11; 15; 16]. Вимірювання дерев робили мірною вилкою на висоті грудей під кутом 45° до поздовжнього профілю лісової смуги (*рис. 1*).

Це дало змогу зафіксувати середній діаметр дерева, оскільки розміри діаметра дерева, виміряного поперек і вздовж лісової смуги, істотно відрізняються. Цей феномен відомий як «ексцентриситет діаметра стовбура», який є наслідком більшого світлового приросту вбік поля порівняно із приростом за діаметром уздовж ряду лісової смуги. Дані діаметрів дерев за ступенями товщини заносили в «Перелікову відомість».

Таблиця 1. Лісівничо-таксаційна характеристика пробних площ

Номер ПП	Склад	Вік, років	Діаметр, см	Висота, м	Кількість рядів	Ширина за проєкціями крон, м	Бонітет	Повнога	Конструкція
<i>Класичні поєзахисні лісові смуги</i>									
1	4Дчр6Клг	70	36,4	24,4	5	25,3	I	0,72	Непродувна
3	10Дз+Язл+Кля	67	37,2	26,0	5	24,0	Ia	0,74	Ажурна
5	9Дз1Яв	72	30,2	24,8	5	26,4	I	0,85	Непродувна
6	10Дз од.Яв	72	36,4	24,0	5	26,0	I	0,89	Непродувна
8	9Дз1Яв	72	35,1	24,5	5	26,6	I	0,91	Продувна
9	7Дз2Взш1Яз	72	37,0	26,1	5	26,0	Ia	0,95	Непродувна
15	8Дз2Ясз+Взг	60	34,6	23,8	5	24,8	I	0,86	Непродувна
<i>Трансформовані лісові смуги у системі орно-польового агролісівництва</i>									
2	8Дз2Язл	63	36,5	23,7	4	18,2	I	0,50	Ажурна
4	8Дз2Яв	72	35,5	24,8	3	22,0	I	0,93	Продувна
7	10Дз+Яв	72	36,3	25,7	3	20,6	I	0,90	Продувна
10	10Дз	73	34,4	18,6	3	20,4	III	0,87	Продувна
11	10Дз	73	35,9	19,0	3	19,0	II	0,94	Продувна
12	10Дз+Язл+Брс	62	34,4	18,3	3	16,2	II	0,62	Ажурна
13	5Клг2Тч2Кля1Вб	55	28,6	15,9	2	18,4	II	0,57	Продувна
14	9Дз1Бп	55	31,3	16,1	3	19,5	II	0,68	Ажурна
16	10Дз	60	29,8	18,2	2	14,5	II	0,76	Продувна



Рис. 1. Вимірювання діаметра дерев на пробній площі № 3

Під час переліку для кожного деревного виду встановлювали категорію стану за сумою біоморфологічних ознак — дехромації (кольору) та дефоліації (густоти) крони [17; 18]. Останню визначали за альбомом дефоліації у відсотках втрати листя крони. Під час польових робіт на кожній пробній площі записували всі прояви негативного впливу на санітарний стан лісових фітоценозів інших біотичних і абіотичних чинників (патогени і шкідники лісу, пошкодження пізніми заморозками, дикими й свійськими тваринами, обпалювання узлісь лісових смуг через спалювання стерні, наявність сухих гілок, некрози листків, стан кори і лубу тощо).

Для виявлення санітарного стану лісових смуг використано методику, затверджену Кабінетом Міністрів України [19]. Згідно з методикою у насадженнях закладаються реласкопічні (кругові) пробні площі з розподілом дерев на категорії санітарного

стану. Оскільки лісові смуги — це лінійні насадження, то розподіл на категорії санітарного стану проводили безпосередньо із переліком дерев на пробній площі. До того ж виділяли такі категорії стану дерев: здорові, ослаблені, дуже ослаблені, усихаючі та сухостій (свіжий і минулих років). Загальний індекс санітарного стану лісових смуг I_c визначали за формулою 1 [19]:

$$I_c = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + 5n_5 + 6n_6}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6}, \quad (1)$$

де n_1, n_2, \dots, n_6 — кількість дерев відповідної категорії санітарного стану.

Інтегрований стан лісової смуги встановлювали за такими величинами індексу санітарного стану: до 1,5 — здорові насадження; 1,6–2,5 — ослаблені; 2,6–3,5 — сильно ослаблені; 3,6–4,5 — насадження, що всихають; понад 4,5 — загиблі.

З метою визначення особливостей диференціації дерев різного вікового періоду і видового складу встановлювали клас Крафта кожного дерева за ступенем панування і його життєвості під час переліку дерев на пробній площі [16].

Ажурність поздовжньо-вертикального профілю полезахисних насаджень виявляли фотометричним методом у нижній частині (між стовбурами на висоті до 2 м) і в кронах. Дані ажурності лягли в основу визначення конструкції лісової смуги, яку формулювали за ДСТУ 48-74:2007 [20].

Статистичне опрацювання польових даних здійснювали за стандартними методами варіаційної статистики, регресійного і кореляційного аналізів [21], а також з використанням прикладного пакета програм Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз параметричної структури полезахисних насаджень — ширина, кількість рядів, захисна висота засвідчив, що у всіх ТЛС ширина за проєкціями крон була на 4–10 м менша ніж КЛС. Трансформовані лісові смуги набули вузької переважно 4–7,5 м ширини за параметрами між-

рядь, тоді як КЛС складаються із 5 рядів завширшки до 26 м за проєкціями крон. Конструкція ТЛС сформувалася загалом під час трансформаційних процесів і набула у більшості випадків продувного характеру. Це пов'язано як із кількістю рядів і шириною лісової смуги, так і зі зрідженням насаджень.

Найпоширенішою деревною породою в досліджуваному регіоні є дуб звичайний (*Quercus robur* L.). Завдяки потужній ажурній кроні, довговічності, біологічній стійкості, високим меліоративним якимостям дуб звичайний вважається однією із перспективних та ефективних порід для захисного лісорозведення. Також трапляються лісові смуги, у складі яких є клен гостролистий (*Acer platanoides* L.), ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* Michx.), ясен зелений (*Fraxinus viridis* F. Michx.), клен-явір (*Acer pseudoplatanus* L.) що доповнюють головну породу, а іноді створені без її участі (ПП 13). На ПП 1 головною породою постає дуб червоний (*Quercus rubra* L.) з домішкою клена гостролистого.

Досліджувані полезахисні насадження пристиглої вікової групи — VI–VII класів віку, які створювалися у 50–70-х рр. XX ст. переважно гніздовим способом із висівом у гніздові лунки жолудів дуба звичайного. За таким способом утворені трьохрядні насадження з широкими 5-ми міжряддями, у середині яких висаджували сіянці супутніх порід — клена гостролистого, клена-явора, липи серцелистої та ін. У цьому випадку мішані дубові гніздові насадження набули 5-рядної структури, а чисті — склалися із 2–3-х рядів (ПП 10, 11 і 16).

Наразі всі насадження досягли проектно-захисної висоти 18,2–26,1 м. Полезахисні лісові смуги такої висоти повністю здійснюють меліоративний вплив на міжсмуговий простір, який за нормативними даними у лісостеповій зоні становить 600 м. Захисні висоти КЛС переважають аналогічний показник ТЛС на 2–4 м, що відображається на продуктивності насаджень. Так, КЛС характеризуються високою продуктивністю з Іа–І класами бонітету, у той

час як ТЛС переважно ростуть за II класом бонітету. Виняток становлять насадження на ПП 2, 4 і 7, які сягають I класу бонітету. Чисті дубові лісові смуги також набувають низької продуктивності. На ПП 10 зафіксовано III бонітет насадження. Низька інтенсивність росту ТЛС пов'язана із високою освітленістю поздовжнього профілю та продувною й ажурною конструкціями лісових смуг. Цей чинник впливає і на густоту насаджень, повнота яких у ТЛС на 2–3 одиниці менша, ніж повнота КЛС.

Для встановлення санітарного стану досліджуваних насаджень проаналізовано розподіл дерев за видами і категоріями санітарного стану на пробних площах

(табл. 2) і за формулою 1 розраховано індекс санітарного стану.

Аналіз санітарного стану лінійних насаджень виявив ліпшу ситуацію в трансформованих лісових смугах на відміну від класичних. Якщо в останніх індекс санітарного стану коливається у межах 2,0–2,9, то у ТЛС його величина знаходиться в діапазоні 1,5–2,4. Це є свідченням оздоровлення насаджень під час трансформації, яка здійснювалася як у порядку видалення узлісних рядів і рубок догляду безпосередньо у насажденні, так і в результаті їх вузьколінійного створення. Про це також вказує і наявність сухостійних дерев, частка яких встановлена у понад 10% у КЛС

Таблиця 2. Розподіл дерев за видами і категоріями санітарного стану в класичних і трансформованих лісових смугах

Номер ПП	Склад насадження	Деревний вид	Категорія санітарного стану						I_c	Клас Крафта
			I	II	III	IV	V	VI		
<i>Класичні полежахисні лісові смуги</i>										
1	4ДчрбКлг	Дчр	45,3	34,9	5,8	4,7	3,5	5,8	1,6	2,1
		Клг	23,0	35,7	36,5	4,0	0,8	0,0	2,2	2,9
		Разом	32,1	35,4	24,1	4,2	1,9	2,4	2,1	2,6
3	10Дз+Язл+Кля	Дз	24,3	27,7	33,8	7,4	4,1	2,7	2,3	2,4
		Язл	9,7	40,3	33,9	6,5	9,7	0,0	2,7	2,9
		Кля	11,7	36,7	40,0	5,0	6,7	0,0	2,6	3,1
		Разом	18,1	32,6	35,2	6,7	5,9	1,5	2,5	2,5
5	9Дз1Яв	Дз	44,3	25,7	8,6	7,1	5,7	8,6	1,9	2,5
		Яв	21,4	42,9	14,3	14,3	4,8	2,4	2,4	2,8
		Разом	35,7	32,1	10,7	9,8	5,4	6,3	2,3	2,6
6	10Дз од.Яв	Дз	53,8	13,8	11,3	6,3	8,8	6,3	2,1	2,4
		Яв	23,5	29,4	23,5	11,8	5,9	5,9	23,5	2,6
		Разом	48,5	16,5	13,4	7,2	8,2	6,2	48,5	2,4
8	9Дз1Яв	Дз	33,0	24,8	14,7	9,2	8,3	10,1	1,8	2,2
		Яв	45,5	27,3	9,1	9,1	9,1	0,0	2,1	2,5
		Разом	34,2	25,0	14,2	9,2	8,3	9,2	2,6	2,2
9	7Дз2Взш1Яз	Дз	47,3	22,6	12,9	15,1	2,2	0,0	2,0	2,6
		Яв	57,9	15,8	10,5	10,5	5,3	0,0	1,9	2,8
		Разом	49,1	21,4	12,5	14,3	2,7	0,0	2,0	2,6
15	8Дз2Ясз+Взг	Дз	28,7	20,6	19,9	11,0	10,3	9,6	2,2	2,5
		Яз	27,3	18,2	24,2	9,1	12,1	9,1	2,9	2,5
		Вз	0,0	22,7	27,3	18,2	13,6	18,2	3,8	3,4
		Разом	25,1	20,4	21,5	11,5	11,0	10,5	2,9	2,5

Номер ПП	Склад насадження	Деревний вид	Категорія санітарного стану						I _c	Клас Крафта
			I	II	III	IV	V	VI		
<i>Трансформовані лісові смуги у системі орно-польового агролісівництва</i>										
2	8Дз2Язл	Дз	26,8	35,5	35,5	1,4	0,7	0,0	2,1	1,9
		Язл	9,1	19,2	64,6	6,1	1,0	0,0	2,7	2,2
		Разом	19,4	28,7	47,7	3,4	0,8	0,0	2,4	2,3
4	8Дз2Яв	Дз	50,4	24,4	11,9	8,1	5,2	0,0	1,9	2,1
		Яв	21,6	43,1	15,7	13,7	3,9	2,0	2,4	2,4
		Разом	42,5	29,6	12,9	9,7	4,8	0,5	2,1	2,2
7	10Дз+Яв	Дз	48,6	32,4	10,8	5,4	2,7	0,0	1,8	2,0
		Яв	35,7	33,3	21,4	7,1	2,4	0,0	2,1	2,6
		Разом	44,0	32,8	14,7	6,0	2,6	0,0	1,9	2,2
10	10Дз	Дз	28,4	31,1	17,8	12,0	8,4	2,2	2,5	2,3
11	10Дз	Дз	49,2	29,8	12,6	4,7	3,1	0,5	1,8	2,2
12	10Дз+Язл+Брс	Дз	50,3	33,2	10,9	3,6	2,1	0,0	1,7	2,1
		Язл	56,8	20,5	11,4	6,8	4,5	0,0	1,8	2,3
		Взш	13,3	31,1	26,7	17,8	8,9	2,2	2,8	3,5
		Разом	45,4	30,9	13,5	6,4	3,5	0,4	1,9	2,6
13	5Клг2Тч2Кля1Вб	Клг	55,4	23,8	7,9	7,9	5,0	0,0	1,8	2,4
		Тч	22,6	26,4	20,8	15,1	11,3	3,8	2,8	3,1
		Яв	30,8	28,8	19,2	11,5	9,6	0,0	2,4	2,4
		Вб	10,3	27,6	17,2	13,8	17,2	13,8	3,4	3,6
		Разом	37,0	26,0	14,5	11,1	8,9	2,6	2,4	2,9
14	9Дз1Бп	Дз	48,8	29,5	8,5	7,0	5,4	0,8	1,9	2,1
		Бп	16,7	21,4	21,4	16,7	16,7	7,1	3,2	2,6
		Разом	44,3	28,3	10,3	8,3	7,0	1,7	2,1	2,5
16	10Дз+Язл+Брс	Дз	35,2	28,3	15,1	13,2	7,5	0,6	2,3	2,4

на пробних площах 8 і 15, що відповідно становило 10,1 і 10,5%.

Відсутність сухостійних дерев або їх невелика частка (до 2,6%) у трансформованих лісових смугах підтверджує крайній стан цих насаджень. Це доводять і менші значення середньозважених класів Крафта, хоча значущого кореляційного зв'язку з часткою сухостійних дерев не спостерігається.

Санітарний стан полезахисних насаджень Білоцерківщини вивчали Хрик і Левандовська [17]. Дослідники виявили, що найбільший відсоток здорових дерев фіксувався у смугах продувної й ажурно-

продувної конструкцій. Відсутні дерев V–VI категорій у цих насадженнях науковці пов'язують із своєчасним вилученням їх санітарними рубками. Ці дані є підтвердженням оздоровлення трансформованих лісових смуг.

Досліджуючи санітарний стан лісових смуг Лівобережного Лісостепу України Малога та ін. [22] встановили загалом дві здорових, чотири ослаблених і дві дуже ослаблених дубові лісові смуги. До того ж останні категорії характерні лісовим смугам щільної конструкції без лісівничого догляду впродовж тривалого 10–20-річного періоду.

В агролісомеліоративному фонді досліджуваного регіону переважають полезахисні лісові смуги з головною деревною породою дубом звичайним. Однак трапляються лінійні насадження з кленом гостролистим, ясенем звичайним і зеленим, березою повислою. Насадження на ПП 1 з дубом червоним і кленом гостролистим характеризується як ослаблене з санітарним індексом 2,1. Хоча індекс санітарного стану дуба звичайного становить 1,9, загальна величина визначена у 2,1 бала, оскільки клен гостролистий уражений напівпаразитною рослиною омелою білою (*Viscum album L.*).

Найкращим санітарним станом серед КЛС є насадження продувної конструкції на ПП 8 зі складом 9Дз1Яв. Дуже ослаблений стан насаджень відзначено на ПП 15, де індекс санітарного стану сягає 2,9 бала. Це пояснюється значною часткою сухостійних дерев в'яза гладкого (*Ulmus laevis Pall.*). Середньозважений клас Крафта цього виду набуває найбільшого значення – 3,4 (табл. 3).

Санітарний стан насаджень також визначається наявністю частки дерев певного класу Крафта, тому одним із завдань досліджень було встановлення зв'язку між цими показниками. У табл. 3 представлені дані розподілу дерев у полезахисних лісових смугах на пробних площах за класами Крафта.

Усі полезахисні насадження з перевагою дуба звичайного мають високий відсоток панівних і домінантних дерев (І і ІІ класів Крафта). Істотної різниці у чисельності дерев цих категорій між КЛС і ТЛС не виявлено. Однак простежується сильніша збіжистість стовбурів дерев в ТЛС.

Величина індексу санітарного стану полезахисних лісових смуг характеризується стійкою залежністю від частки дерев певних класів Крафта досліджуваних насаджень. Співвідношення цих показників оптимально описується лінійними рівняннями 2 і 3 (рис. 2).

$$y = 0,5065x + 1,449; R^2 = 0,711, \quad (2)$$

$$y = 0,6569x + 1,046; R^2 = 0,529. \quad (3)$$

Таблиця 3. Розподіл дерев у полезахисних лісових смугах за класами Крафта, %

Номер ПП	Клас Крафта					Середній клас Крафта	I_c
	I	II	III	IV	V		
<i>Класичні полезахисні лісові смуги</i>							
1	25,1	24,1	22,0	21,5	7,3	2,6	2,1
3	20,3	30,0	36,2	9,2	4,3	2,5	2,5
5	27,0	26,2	17,2	15,6	13,9	2,6	2,3
6	48,5	16,5	13,4	7,2	8,2	2,4	2,2
8	46,6	16,9	15,3	11,9	9,3	2,2	2,6
9	28,3	22,1	19,5	20,4	9,7	2,6	2,0
15	30,9	24,2	19,4	14,5	10,9	2,5	2,9
<i>Трансформовані лісові смуги у систему орно-польового агролісівництва</i>							
2	36,7	25,8	18,0	14,1	5,5	2,3	2,4
4	41,4	24,7	15,1	11,8	7,0	2,2	2,1
7	35,0	33,3	15,4	10,3	6,0	2,2	1,9
10	69,9	19,6	3,3	3,3	2,9	2,3	1,5
11	39,1	27,1	17,7	10,4	5,7	2,2	1,8
12	45,4	30,9	13,5	6,4	3,5	2,6	1,9
13	40,4	22,9	12,9	10,8	8,8	2,9	2,4
14	44,3	28,3	10,3	8,3	7,0	2,5	2,1
16	33,8	28,1	15,0	13,8	9,4	2,4	2,3

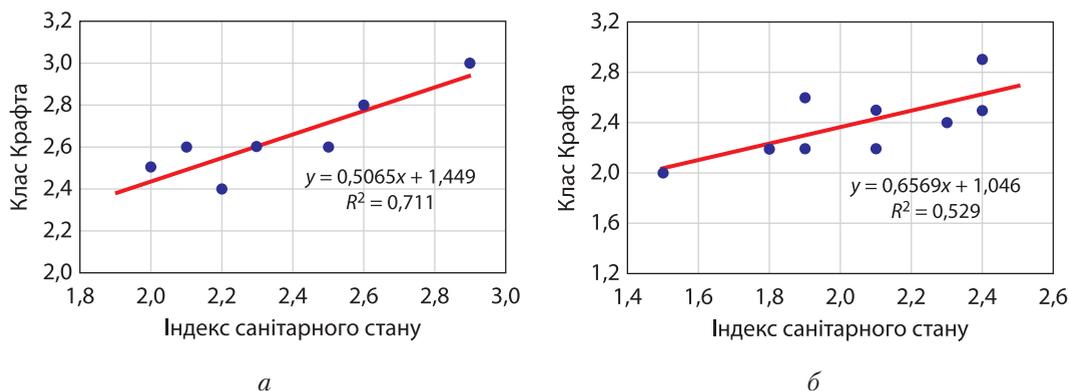


Рис. 2. Співвідношення індексу санітарного стану і середньозваженого класу Крафта в класичних (а) і трансформованих (б) лісових смугах

Оскільки наближеність рівняння регресії і лінії тренду до вибірових даних визначається величиною коефіцієнта детермінації (R^2), то аналіз його величин обґрунтовує зв'язок між індексом санітарного стану і середньозваженим класом Крафта. В лінійних рівняннях коефіцієнти детермінації для КЛС і ТЛС оцінені величинами 0,711 і 0,529 відповідно, що характеризує досить стійку достовірність апроксимації фактичних даних до вибраної моделі та свідчать про достатній рівень її точності. Тому отримані моделі придатні для використання у прогнозуванні санітарного стану насаджень за означеним середньозваженим класом Крафта. Таку тенденцію підтверджують дослідження полезахисних лісових смуг Харківщини, проведені С.В. Сидоренко і С.Г. Сидоренко [23]. За їхніми даними регресійний аналіз зв'язку між середнім класом Крафта і санітарним станом також описується рівнянням прямої лінії з коефіцієнтом детермінації 0,44.

Дослідники відзначають, що відсутність лісівничого догляду в КЛС спонукає до інтенсивного асиметричного розростання крони узлісних дерев на 4,5–13,9 м у сторону поля. Як наслідок, це призводить до збільшення фактичної ширини КЛС у 1,5–3,5 раза від проектної ширини лісової смуги [23].

Трансформація КЛС у ТЛС, навпаки, зменшує ширину лінійного насадження,

тим самим вивільняється продуктивна площа для агровиробництва, скорочуються витрати на утримання і догляд за насадженнями, поліпшуються аеродинамічні властивості лісових смуг, що покращує меліоративний вплив на прилеглі території.

ВИСНОВКИ

Трансформація класичних лісових смуг у лінійні насадження системи орнопольового агролісівництва зумовлює зміни як параметричної структури лісових, так і їх конструктивних особливостей. Загалом усі трансформовані полезахисні насадження набули ажурної та продувної конструкції, що чинить ефективний вплив на вітрорегулювання, меліоративний захист прилеглих територій.

Досліджувані полезахисні насадження VI–VIII класів віку повністю здійснюють меліоративний вплив на міжсмуговий простір. Захисні висоти класичних лісових смуг на 2–4 м більше трансформованих насаджень, що відображається на зниженні їх продуктивності на I–II класу бонітету. Низька інтенсивність росту трансформованих лісових смуг пов'язана із високою освітленістю поздовжнього профілю та продувною й ажурною конструкціями.

Трансформовані лісові смуги характеризуються кращим санітарним станом на відміну від класичних. Про це свідчить індекс санітарного стану, який коливається

у межах 2,0–2,9 та 1,5–2,4 у класичних і трансформованих лісових смугах відповідно. Відсутність сухостійних дерев або їх невелика частка (до 2,6%) у трансформованих лісових смугах покращують стан цих насаджень. Цей факт підтверджують і менші значення середньозважених класів Крафта, які вказують на більшу частку пнівних і доміантних дерев у трансформованих насадженнях.

Встановлено зв'язок між санітарним станом насаджень і часткою дерев класів Крафта, який оптимально описується лінійними рівняннями. Високі коефіцієнти детермінації моделей характеризують стій-

ку достовірність апроксимації фактичних даних до вибраних моделей та свідчать про достатній рівень її точності. Використовуючи ці моделі за визначеним середньозваженим класом Крафта можна встановити санітарний стан насаджень.

Трансформація класичних лісових смуг у лінійні насадження системи орно-польового агролісівництва призводить до зміни стану і розвитку насаджень, що поліпшує їх меліоративні властивості, а також збільшує частку орних земель, необхідних для вирощування сільськогосподарської продукції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про схвалення концепції розвитку агролісомеліорації в Україні. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 725-р (2013). (Україна). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/725-2013-%D1%80#Text>.
2. Nair, P. R. (1985). Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 3, 97–128. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00122638>.
3. Nair, P. R., & Garrity, D. (2012). *Agroforestry — The Future of Global Land Use*. Springer Dordrecht Publisher.
4. Mosquera-Losada, M., Santiago-Freijanes, J., Rois-Díaz, M., Moreno, G., den Herder, M., Aldrey-Vázquez, J., ... Rigueiro-Rodríguez, A. (2018). Agroforestry in Europe: A landmanagement policy tool to combat climate change. *Land Use Policy*, 78, 603–613. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.06.052>.
5. Гладун, Г. Ю., & Гладун, Ю. Г. (2013). Перспективи розвитку агролісівництва в Україні. *Лісівництво і лісомеліорація*, 2, 165–170.
6. Гладун, Г. Б., Трофименко, М. Є., & Лохматов, М. А. (2005). *Захисні лісові насадження: проектування, вирощування, впорядкування*. Харків: Нове слово.
7. Фурдичко, О. І., Гладун, Г. Б., & Лавров, В. В. (2006). *Ліс у Степу: основи сталого розвитку*. Київ: Основа.
8. Фурдичко, О. І., & Стадник, А. П. (2012). *Основи управління агроландшафтами України*. Київ: Аграрна наука.
9. Висоцька, Н. Ю., Зубов, О. Р., Зубова, Л. Г., & Фомін, В. І. (2019). Стан захисних лісових смуг різного призначення в Олешківському районі Херсонської області. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 135, 85–97. DOI: <https://doi.org/10.33220/1026-3365.135.2019.85>.
10. Висоцька, Н. Ю., Сидоренко, С. В., & Сидоренко, С. Г. (2018). Вплив рекреації на стан і структуру полезахисних лісових смуг. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 132, 84–93. DOI: <https://doi.org/10.33220/1026-3365.132.2018.84>.
11. Юхновський, В. Ю., Малога, 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.
12. Чорнобров, О. Ю., Соломаха, В. А., Соломаха, І. В., Саблук, В. Т., Гументик, М. Я., & Шевчик, В. Л. (2024). Відтворення полезахисних лісосмуг, пошкоджених наслідком військових дій, у зоні Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*, 4, 81–91. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2024.317154>.
13. Клименко, М. О., Ткачук, О. П., & Панкова, С. О. (2021). Екологічні проблеми функціонування полезахисних лісосмуг в умовах Лісостепу правобережного. *Сільське господарство та лісівництво*, 20, 179–194. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-14>.
14. Правила утримання та збереження полезахисних лісових смуг, розташованих на землях сільськогосподарського призначення. Постанова Кабінету Міністрів України № 650 (2020). (Україна). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/650-2020-%D0%BF#Text>.
15. СОУ 02.02-37-476: 2006. Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання. (2006). [Чинний від 2007-05-01]. Київ: Мінагрополітики України.
16. Гірс, О. А., Новак, Б. І., & Кашпор, С. М. (2013). *Лісовпорядкування: підруч.* Київ: Фітосоціоцентр.
17. Хрик, В. М., & Левандовська, С. М. (2016). Стан полезахисних лісових смуг Білоцерківського національного аграрного університету. *Науковий вісник НЛТУ України*, 26.3, 187–192.
18. Meshkova, V. L., Ryvovar, T. S., & Tovstukha, O. V. (2019). Health condition parameters for deciduous trees in the forest stands of Trostyanetske Forest Enterprise. *Proceedings of the Forestry Academy of*

- Sciences of Ukraine*, 18, 129–137. DOI: <https://doi.org/10.15421/411913>.
19. Санітарні правила в лісах України. Постанова Кабінету Міністрів України № 1224 (2020). (Україна). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1224-2020-%D0%BF#Text>.
 20. ДСТУ ISO 4874:2007. Агролісомеліорація. Терміни і визначення понять. (2010). [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України.
 21. StatSoft (2007). *STATISTICA, an advanced analytics software package*. URL: www.statsoft.com.
 22. Maliuha, V., Sovakov, O., & Dudarets, S. (2023). The current state of windbreaks in the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 14(2), 53–66. DOI: <https://doi.org/10.31548/forest/2.2023.53>.
 23. Сидоренко, С. В., & Сидоренко, С. Г. (2018). Сучасний стан і ріст полезахисних лісових смуг Харківської області та їхня меліоративна ефективність. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 133, 39–53. DOI: <https://doi.org/10.33220/1026-3365.133.2018.39>.

Стаття надійшла до редакції журналу 12.01.2025

КОМПЛЕКСНИЙ ПОКАЗНИК РАДІОЕКОЛОГІЧНОЇ КРИТИЧНОСТІ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ: МЕТОДИКА ОЦІНКИ ТА КАРТОГРАФУВАННЯ

І.К. Швиденко¹, Т.Л. Кучма¹, Л.А. Райчук¹, Г.М. Чоботько¹,
І.М. Макдональд², Н.А. Барановська¹

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

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

e-mail: tanyakuchma@gmail.com; ORCID: 0000-0002-9328-5919

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

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

e-mail: baranovska23074@gmail.com; ORCID: 0009-0004-4391-7174

²Університет Форт-Гейс, кафедра сільського господарства (м. Гейс, Канзас, США)

e-mail: i_mcdonald@fhsu.edu; ORCID: 0000-0002-4515-3305

На основі критеріїв, що враховують як природні, так і антропогенні чинники, які впливають на радіоекологічну ситуацію в регіоні, розроблено складові елементи радіоекологічно-ландшафтної карти Полісся України. До основних елементів карти увійшли: радіоекологічні показники (щільність забруднення ґрунтів радіонуклідами), природні особливості території (типи ґрунтів, рослинний покрив, рельєф), а також кліматичні та гідрологічні умови. Такий підхід дає можливість комплексно оцінити екологічні ризики та визначити найбільш доцільні напрями використання земель для сільського й лісового господарств. Із урахуванням складових елементів інтегрованої радіоекологічно-ландшафтної карти Полісся України розроблено комплексний показник радіоекологічної критичності територій, який розраховується на основі переліку коефіцієнтів, що відображають складові карти і їх аналіз. Значення коефіцієнтів для окремих компонентів показника розподілені на кілька класів, що дає змогу врахувати різні рівні ризиків. Встановлено, що інтеграція наявних баз даних з адресними додатковими дослідженнями є оптимальним підходом для формування ефективного показника радіоекологічної критичності територій. Це зможе забезпечити більшу надійну оцінку ризиків та сприятиме розробці стратегії управління радіоекологічною безпекою на різних рівнях. Обґрунтовано необхідність інтеграції різних наборів даних, що включають локальні та глобальні ресурси, для формування комплексного підходу до оцінки радіоекологічної критичності. Такий підхід дасть можливість враховувати як локальні особливості території, так і більш масштабні тенденції. Доведено, що важливим є врахування обмежень кожного джерела даних. Зокрема, використання даних про річкові мережі, рельєф та тип ґрунтів допомагає покращити точність моделювання радіоекологічних процесів, як-от міграція радіонуклідів. Цей підхід також враховує дозоване навантаження на населення, яке є одним із ключових чинників оцінки екологічної безпеки території. Значення дозованого навантаження класифіковані за чотирима рівнями, що дає змогу оцінювати вплив радіоактивного забруднення на здоров'я місцевого населення та прогнозувати можливі ризики.

Ключові слова: радіоеколого-ландшафтне районування, екологічні ризики, дозоване навантаження, радіоекологічна безпека.

ВСТУП

За час, що минув із моменту аварії на Чорнобильській АЕС, ситуація в регіонах, які постраждали внаслідок радіоекологіч-

ного забруднення, істотно змінилась: площа забрудненої радіонуклідами території та рівні цього забруднення зменшилися, четверта зона радіоактивного забруднення була скасована [1; 2]. Усі ці обставини, поряд із наявними соціально-економічними потребами та викликами, а також зовніш-

німи чинниками, зокрема наслідками російської воєнної агресії та прагненням України до інтеграції в Європейський економічний простір, зокрема в контексті Європейського зеленого курсу, викликали гостру необхідність максимально можливого залучення радіоактивно забруднених сільськогосподарських земель до процесу аграрного виробництва. Прийняття відповідних управлінських рішень та розроблення стратегій розвитку як сільськогосподарського виробництва, так і постраждалого регіону загалом вимагає наявності актуальної інформації щодо рівнів забруднення території радіонуклідами. Однак, уже впродовж тривалого часу системного широкомасштабного радіоекологічного моніторингу не проводилось, і господарська діяльність подекуди ведеться із порушенням чинного законодавства.

Тому, незважаючи на тривалий період, що минув після аварії на ЧАЕС, необхідність радіоекологічного моніторингу не втрачає своєї актуальності. А картографічний метод як інструмент просторового моделювання залишається ключовим для достовірного радіоекологічного районування забрудненої території на основі сучасних даних моніторингу. Експериментально-практичне розроблення карт зонування як території Українського Полісся загалом, так і адміністративних районів окремо відповідно до класифікації ландшафтів за ступенем винесення радіонуклідів є потрібним не лише щодо застосування методів картографічного моделювання території, що зазнала радіаційного забруднення, а й щодо побудови типової картографічної моделі-зразка узагальнення радіоекологічної інформації. Вбачається, що одним із логічних та доцільних варіантів розв'язання такої проблеми є використання засобів дистанційного зондування землі (ДЗЗ) та ГІС-методів, які, крім усього іншого, дають можливість отримати результати за короткий термін та стосовно великих територій.

Отже, створена радіоекологічно-ландшафтна карта дасть змогу адекватно проводити оцінювання сучасної й прогнозної

радіоекологічної ситуації, а також оперативно розробляти системи заходів, які будуть спрямовані на поліпшення ситуації, вибір релевантних рішень щодо соціально-та економіко-екологічних проблем у регіоні й обґрунтування реалізації відповідних заходів у визначених на картах місцях. Побудова відповідної карти допоможе частково розв'язати проблему матеріальних затрат та часу, розширити можливості прогнозної оцінки радіоекологічної ситуації, а також охопити більші території з урахуванням даних із реципієнтів впливу радіоекологічного забруднення шляхом врахування дози внутрішнього опромінення населення.

З огляду на вищезазначене, першочерговою **метою дослідження** є розробка комплексного показника радіоекологічної критичності територій та його складових коефіцієнтів на основі обраних елементів інтегрованої радіоекологічно-ландшафтної карти Полісся України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Радіоекологічно-ландшафтна карта є важливим інструментом для інформаційного забезпечення комплексного вирішення проблем оздоровлення довкілля, створення умов, сприятливих для життєдіяльності населення, а також для господарської реабілітації постраждалих унаслідок радіоактивного забруднення територій (Л.А. Райчук та співавт.) [2]. Розробка радіоекологічно-ландшафтної карти здійснюється з урахування карт, що дають змогу інтегрувати та узагальнити наявну інформацію з метою найбільшої точності результатів картування. Використання багаторівневих та багатошарових картографічних даних допомагає комплексно оцінити просторові зміни радіоекологічних показників, що є критично важливим для розробки стратегій екологічної безпеки та сталого розвитку територій, що зазнали радіоактивного забруднення [3].

Згідно з дослідженнями Б.С. Прістера, Т.Д. Лев, В.Д. Виноградської, М.М. Талерко, О.Г. Тищенко, В.Н. Піскун [4; 5] усі спроби попереднього картування радіоак-

тивно забруднених територій зводилось саме до фактологічного обстеження різними методами. Прогрес у цьому напрямі відбувався переважно до удосконалення інструментарію, а не самого підходу.

Одними з основних труднощів під час проведення подібного картування є те, що впродовж останніх десятиліть в Україні здійснювалась значна трансформація структури землекористування. Було ліквідовано багато великотоварних сільгосп-підприємств, сталася приватизація сільськогосподарських земель, розпаювання, значна частка продукції походить від дрібних приватних власників та особистих селянських господарств [6]. Все це ускладнює проведення радіоекологічного моніторингу.

Для попереднього визначення радіологічно критичних територій, які потребують здійснення комплексного радіоекологічного моніторингу, може слугувати доза внутрішнього опромінення населення як інтегральний показник радіологічного та соціально-економічного стану певного населеного пункту чи регіону. Зокрема, В. Ландіним із колегами [7; 8] було встановлено, що розподіл дози внутрішнього опромінення багатьох обстежених населених пунктів Українського Полісся набуває нових ознак і відбувається за іншим принципом залежно від особливостей формування дози внутрішнього опромінення. Однак масштабне дозиметричне обстеження, як і всі прямі вимірювання, є трудомістким і дороговартісним.

Отже, використання ДЗЗ та ГІС-технологій для моніторингу стану радіоекологічної критичності території значно спрощує проблему широкомасштабного радіологічного моніторингу місцевості.

Дослідження наслідків радіаційних аварій показали, що варіації в характеристиках ландшафту, як-от рельєф, типи ґрунтів та види рослинного покриву, а також особливості землекористування, істотно впливають на нерівномірний розподіл радіоактивного забруднення на землях, які використовуються в сільському господарстві. Це також позначається на рівнях

внутрішнього опромінення мешканців цих регіонів.

У 1979 р. А. Aarkrog [9] вперше розглянув дію екологічних чинників на поширення радіоактивного забруднення. Він запропонував концепцію радіоекологічної чутливості, яка допомагає оцінювати власності об'єктів довкілля в умовах глобальних випадів радіонуклідів, як-от ^{137}Cs і ^{90}Sr , у Данії та на Фарерських островах. Після аварії на ЧАЕС ця концепція стала основою для визначення та аналізу територій, де дози опромінення людей були вищими через зживання радіоактивно забруднених харчових продуктів, що відображено в низці міжнародних проєктів, як-от SAVE, RESTORE, SENSIB, а також програмах AMAP та AVAIL, присвячених арктичним екосистемам [9; 10]. Програма MAGATE EMRAS (робоча група 8) II представила концепцію екологічної чутливості, що враховувала сукупність відповідних чинників довкілля, та вказала, що ступінь цієї чутливості може істотно змінюватися залежно від короткострокових або середньострокових умов, які виникають під час розвитку радіаційних інцидентів [11].

Після аварії на ЧАЕС для визначення радіоекологічної чутливості територій використовувався аналіз середньозважених доз внутрішнього опромінення з урахуванням властивостей ґрунтів. Дослідження науковців [1; 12] показали, що нерівномірність ґрунтових покривів і їх вплив на здатність радіонуклідів до міграції можуть істотно змінювати радіаційний фон на забруднених ділянках, як у бік посилення, так і в бік зниження ефекту щільності випадів. У Волинській та Рівненській обл. навіть за порівняно низьких рівнях радіоактивного забруднення та значній віддаленості від джерела спостерігалися підвищені дози опромінення населення через накопичення ^{137}Cs у харчових продуктах, зокрема в молоці та картоплі, які є основними компонентами харчування місцевого населення.

Аналіз отриманих літературних даних свідчить про важливість попередньої оцінки географічних характеристик територій із застосуванням сучасних ГІС-технологій,

що дасть можливість отримати детальну просторово-часову картину розвитку радіаційної ситуації, враховуючи специфічні місцеві умови. Використання такого підходу є ключовим для прогнозування та мінімізації потенційних доз опромінення населення. А підхід до зонування територій після аварії на ЧАЕС, що базувався виключно на щільності радіоактивного забруднення ґрунтів, значно обмежував оцінку фактичного впливу на населення, оскільки не враховував дозу опромінення, спричинену споживанням місцевої продукції. Дослідження, присвячені подоланню наслідків аварії на ЧАЕС, підтвердили вагомість екологічних умов у визначенні рівня радіоактивного забруднення сільськогосподарської продукції [13]. Отримані результати було використано для радіоекологічної оцінки територій та виявлення зон з особливо високим дозованим навантаженням на населення.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

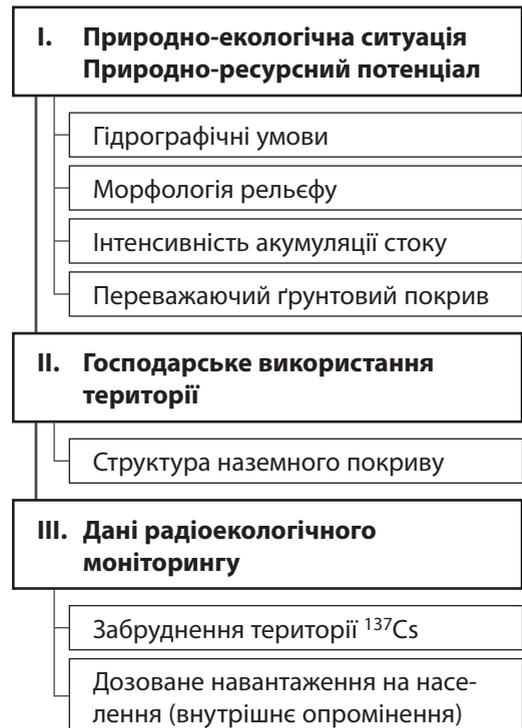
Розроблені складові елементи інтегрованої радіоекологічно-ландшафтної карти Полісся України обрані на основі критеріїв, що враховують як природні, так і антропогенні чинники, що впливають на радіоекологічну ситуацію в регіоні. До основних елементів карти увійшли: радіологічні показники (щільність забруднення ґрунтів радіонуклідами), ландшафтні особливості (типи ґрунтів, рослинний покрив, рельєф), а також кліматичні й гідрологічні умови. Такий підхід допомагає комплексно оцінити екологічні ризики та визначити найбільш доцільні напрями застосування земель для сільського й лісового господарств. Тому, розроблено інтегровану радіоекологічно-ландшафтну карту Полісся України, яка враховуватиме низку показників (*рис.*), що розділені на три блоки: природно-екологічна ситуація та природно-ресурсний потенціал, господарське використання територій та, звичайно, дані радіоекологічного моніторингу.

Відповідно до блоку I «Природно-екологічна ситуація та природно-ресурсний

потенціал» увійшла група показників, що визначає просторовий розподіл радіонуклідів, а також інтенсивність міграції радіонуклідів елементами екосистем, зокрема з ґрунту в рослини.

Гідрографічні умови характеризують напрям і швидкість руху радіонуклідів у водних системах. Зокрема, дослідження [14; 15] показали, що в умовах високої вологості та наявності потужних водотоків забруднення може швидко розповсюджуватися, а радіонукліди можуть накопичуватися у водних екосистемах, що збільшує ризик їх потрапляння в харчові ланцюги. Це особливо актуально для територій із розвинутою мережею річок та озер. У цій категорії чинників враховується також заболоченість місцевості, що істотно впливає на міграцію радіонуклідів.

Морфологія рельєфу відіграє важливу роль у розподілі та накопиченні радіонуклідів на територіях [16; 17]. Території з низь-



Попередня структура радіоекологічно-ландшафтної карти

ким, плоским рельєфом зазвичай сприяють акумуляції радіоактивних частинок, тоді як ділянки з більш крутим схилом можуть полегшувати їх змивання і перенесення до нижчих рельєфних форм. У такому контексті рельєф постає регулятором локалізації та інтенсивності забруднення і визначає ступінь неоднорідності радіоекологічного забруднення території навіть за однорідного початкового забруднення.

Інтенсивність акумуляції стоку визначає, як швидко і в якій кількості радіоактивні речовини можуть переміщуватися разом із поверхневим стоком залежно від особливостей рельєфу [14; 15]. Висока інтенсивність стоку може призводити до швидкого розсіювання радіонуклідів із місць первинного осадження, збільшуючи ризики забруднення прилеглих районів. Цей процес може бути посилений у випадках сильних опадів, які активізують ерозійні процеси і сприяють перенесенню радіоактивних матеріалів.

Переважаючий ґрунтовий покрив також має один із найбільш визначальних впливів на рівень радіоекологічної критичності території, оскільки характеризує рівні коефіцієнтів накопичення і переходу радіонуклідів з ґрунту в рослини, а також особливості міграції радіонуклідів по ґрунтовому профілю. Ґрунти з високим вмістом органічних речовин можуть інтенсивно акумулювати радіонукліди, тим самим мінімізувати можливість природного самоочищення ґрунту, водночас зменшуючи і рівень надходження забруднювачів у рослини. Типовими ґрунтами на Поліссі України є дерново-підзолисті, які є порівняно з незначним вмістом органічної речовини і вищою кислотністю. За даними досліджень [18], ці ґрунтові характеристики зумовлюють високий рівень переходу радіонуклідів у сільськогосподарську продукцію, що сприяє зростанню колективної внутрішньої дози опромінення місцевого населення.

Отже, ці природні чинники у сукупності мають визначати динаміку розповсюдження радіоактивних речовин та їх акумуляцію в екосистемах, що безпосередньо вплива-

тиме на вразливість територій до радіоекологічного забруднення та формування дозованих навантажень на населення.

У блоці II «Господарське використання території» структура наземного покриву є ключовим чинником у визначенні радіоекологічної критичності територій. Вона впливає на розподіл, інтенсивність накопичення та мобільність радіонуклідів, що безпосередньо виявляє рівні внутрішнього та зовнішнього опромінення населення в забруднених зонах. Врахування цих чинників є важливим для розробки заходів щодо зменшення радіоекологічних ризиків та захисту здоров'я місцевого населення.

Тип екосистеми відіграє вагоме значення у регулюванні процесів накопичення та міграції радіонуклідів. Наприклад, лісові екосистеми мають тенденцію до більш тривалої затримки радіоактивних речовин порівняно з відкритими полями або луками, завдяки густому підстилковому шару та високій біомасі рослинності, а також наявності грибів і лишайників. Лісовий покрив сприяє тривалому збереженню радіоактивних ізотопів у ґрунті та рослинних шарах, що може призводити до підвищених рівнів опромінення диких тварин та місцевого населення через харчові ланцюги [19]. Вид сільськогосподарської культури також є важливим чинником, що визначає рівень радіоекологічної критичності. Різні види культур мають різну здатність до накопичення радіонуклідів. Наприклад, картопля та інші коренеплоди мають високий коефіцієнт переходу радіонуклідів із ґрунту в рослини, що робить їх одними з основних дозоутворюваних продуктів для населення в радіоактивно забруднених зонах, як-от Полісся України [20]. Водночас зернові культури можуть мати нижчий рівень накопичення радіоактивних речовин [21]. Тип сільськогосподарської культури відіграє значну роль у накопиченні та переміщенні радіонуклідів. Наприклад, обробіток ґрунту для коренеплодів чи бульбоплодів, як-от картопля, передбачає глибоке розпушування та активне залучення нижніх шарів ґрунту, що може призводити до посиленого переміщення радіонуклідів із

глибини до поверхні і навпаки [22]. Тоді як зернові колосові культури потребують менш інтенсивного обробітку ґрунту, що обмежує переміщення радіонуклідів у ґрунтового профілі. Мінімізація обробітку ґрунту в таких випадках може знижувати доступність радіонуклідів для кореневих систем рослин, що зменшує рівні їхнього накопичення в продуктах рослинного походження. Крім того, особливості обробітку ґрунту під певну культуру можуть впливати на структуру ґрунтового покриву і його здатність до акумуляції радіонуклідних випадіннь. Наприклад, за вирощування багаторічних культур або лісових насаджень обробітку ґрунту мінімальний або зовсім відсутній, що сприяє збереженню стабільного ґрунтового покриву та зниженню ризику вертикальної міграції радіоактивних елементів [22]. Отже, різні агротехнічні методи впливають на доступність і мобільність радіонуклідів у ґрунті, що, своєю чергою, визначає рівні внутрішнього опромінення населення та можливі ризики для здоров'я.

Крім того, специфіка наземного покриву впливає на швидкість переміщення радіонуклідів між різними компонентами екосистеми. Рослинний покрив із високою біомасою та густотою допомагає ефективнішому поглинанню та утриманню радіоактивних частинок, що обмежує їх переміщення з вітровими або водними потоками. З іншого боку, на відкритих ділянках із низькою рослинністю відбувається швидке переміщення радіонуклідів у ґрунті та через поверхневий стік чи ерозію. Тому, все вищесказане підкреслює необхідність диференційованого підходу до управління сільськогосподарськими землями у радіоактивно забруднених регіонах.

Блок III «Дані радіоекологічного моніторингу» містить групу показників щодо забруднення навколишнього середовища радіонуклідами (в нашому випадку ^{137}Cs) та дозоване навантаження на населення (внутрішнє опромінення), оскільки саме ці показники відіграють вирішальну роль у визначенні рівня радіоекологічної критичності територій. ^{137}Cs є довгоживучим

і легко включається у харчові ланцюги, інтенсивно накопичується у рослинності та органах тварин, як наслідок потрапляє до організму людини через харчові продукти, що і призводить до внутрішнього опромінення населення [3].

Дозоване навантаження на населення від внутрішнього опромінення (в Україні дозиметричний контроль здійснюється саме за ^{137}Cs [23], як уже зазначалось, є саме по собі інтегральним показником радіоекологічної критичності території. Формування цього показника залежить не лише від рівня забруднення території радіонуклідом, але і від типу ґрунту, що переважає, доступних для використання екосистем (ліси, рілля, баштан тощо), особливостей раціону харчування, харчових звичок, економічного становища в регіоні та навіть рівня освіти не тільки місцевих мешканців населеного пункту загалом, але і окремих представників сімей [7]. Оцінка дозованого навантаження допомагає встановити, які групи людей найбільш ризикують через споживання забрудненої їжі чи води.

Отже, дані радіоекологічного моніторингу, зокрема рівень забруднення території ^{137}Cs та дозоване навантаження на населення, є фундаментальними чинниками у визначенні радіоекологічної критичності територій, що допомагає адекватно оцінити потенційні ризики та планувати ефективні заходи з управління і відновлення постраждалих екосистем. Дані моніторингу дають змогу виявити найбільш вразливі регіони та забезпечити своєчасне впровадження заходів захисту населення та навколишнього середовища. З огляду на ці аспекти, радіоекологічний моніторинг є необхідним інструментом для оцінки рівня радіоекологічної критичності територій.

У результаті аналізу методологічних підходів до розробки інтегрованого показника радіоекологічної критичності територій встановлено, що для ефективного картування радіоекологічних умов важливо використовувати вже існуючі дані з відкритих джерел, як-от OpenStreetMap, HydroSHEDS, Copernicus Land Monitoring

Service, і подібні. Це дасть можливість мінімізувати затрати на додаткові польові дослідження та гарантує оперативне оновлення інформації, зокрема для таких параметрів, як гідрографічні умови, морфологія рельєфу, типи ґрунтів і наземний покрив.

Використання глобальних баз даних, як-от SRTM, ASTER GDEM та Harmonized World Soil Database, є доцільним для отримання високоточної інформації про рельєф і ґрунтовий покрив, що особливо важливо для прогнозного картування та оцінки ризиків на територіях, забруднених радіонуклідами. Застосування цих даних дає змогу більш точно моделювати екологічні ризики та сприяти розробці заходів із радіоекологічної безпеки.

Обґрунтованою є необхідність інтеграції різних наборів даних, що включають локальні та глобальні ресурси, для формування комплексного підходу до оцінки радіоекологічної критичності територій. Такий підхід допоможе врахувати як локальні особливості, так і більш масштабні тенденції. Однак важливим є врахування обмежень кожного джерела даних. Наприклад, такі ресурси, як Copernicus DEM або USGS National Hydrography Dataset, мають високу точність, але обмежені територією Європи чи США. Це вимагає залучення альтернативних глобальних джерел даних для територій, які не охоплюються цими системами.

Отже, картування передбачає використання даних гідрографічних умов досліджуваної території та морфології її рельєфу, ґрунтового та рослинного покривів, рівня радіаційного забруднення ландшафту, дозованого навантаження на населення з остаточним встановленням рівня радіоекологічної критичності ландшафту. Тобто оцінку рівня радіоекологічної критичності території потрібно проводити з застосуванням комплексного інтегрального показника, що є відображенням сукупної дії внесків екологічних характеристик, представлених у використаних тематичних картах. До того ж агроландшафт розглядається як єдине ціле, тобто як система природних екосистем та агроекосистем, які перебува-

ють у взаємозв'язку і впливають одна на одну.

З огляду на вищесказане, на основі результатів власних багаторічних досліджень та загальнодоступних опублікованих даних щодо рівнів радіоактивного забруднення території Українського Полісся, сільськогосподарської продукції, отриманої в регіоні, і відповідних коефіцієнтів переходу, нами розроблено комплексний показник рівня радіоекологічної критичності території, який розраховується на основі переліку коефіцієнтів, які відображають складові карти і їх аналіз:

$$R_c = R_d \times S_l \times R_a \times S_o \times S_c + P_t \times P_c \times D_y \times D,$$

де R_c – рівень радіоекологічної критичності території; R_d – коефіцієнт гідрографічних умов (відстань від водойми); S_l – коефіцієнт морфології рельєфу території (крутизна схилу); R_a – коефіцієнт інтенсивності акумуляції стоку; S_o – коефіцієнт ґрунтового покриву, що переважає; S_c – коефіцієнт забруднення території ^{137}Cs ; P_t – коефіцієнт наземного покриву території; P_c – коефіцієнт рівня забруднення ландшафту; D_y – дозоване навантаження населення; D – коефіцієнт рівня дозованого навантаження.

Значення коефіцієнтів для окремих компонентів показника розподілені на кілька класів, що дає можливість врахувати різні рівні ризиків. Наприклад, гідрографічні умови (R_d), а саме віддаленість досліджуваної території від водойми, визначають, використовавши базу загальнодоступних картографічних даних. Отриманим даним присвоюють значення відповідних розроблених коефіцієнтів (табл. 1).

Таблиця 1. Значення коефіцієнта гідрографічних умов (відстань від водойми, R_d)

Характеристика	Значення характеристики	Коефіцієнт R_d
Відстань від водойми	Клас 1 – 0–500 м	1,3
	Клас 2 – >500 м	1

Морфологія рельєфу (S_f) оцінюється за п'ятьма класами, починаючи від рівнинних ділянок до крутих схилів (табл. 2).

Інтенсивність акумуляції стоку (R_a) класифіковано за трьома класами, що включають високу, середню та низьку інтенсивність (табл. 3).

Ґрунтовий покрив (S_o) доцільно визначати за результатами досліджень, які представлені у публічній кадастровій карті України, відповідно до генетичної класифікації ґрунтів (картою передбачене врахування 77 типів ґрунту з відповідними коефіцієнтами) [24].

На основі загальнодоступних даних Національного атласу України встановлено рівні забруднення території ^{137}Cs (S_c) (табл. 4). На цьому етапі можливе використання даних математичного моделювання або ж фактичних результатів радіологічних досліджень.

Для визначення типу наземного покриття (P_t) потрібно використовувати загальнодоступні супутникові дані, до прикладу із порталу The Copernicus Global Land Service (CGLS), позначивши кодом та присвоївши відповідні коефіцієнти, що відповідають певним екологічним характеристикам. Окрім того, враховані такі типи рослинності (табл. 5): чагарники, трав'яна рослинність (луки), сільськогосподарські угіддя, забудована територія (урботериторія), відкритий ґрунт / нещільна рослинність, водні об'єкти, водно-болотні угіддя, густий хвойний ліс (проективне покриття кронами дерев >70%), густий широколистяний ліс (проективне покриття кронами дерев >70%), хвойний ліс, рідколісся (проективне покриття кронами дерев 15–70%), широколистяний ліс, рідколісся (проективне покриття кронами дерев 15–70%), мішаний ліс.

Відповідно до рівня антропогенного навантаження на ландшафти (P_c) присвоюють певні коефіцієнти. Інтенсивність експлуатації ландшафтів (екосистем) визначається наявністю проведення агрохімічних, агротехнічних і меліоративних заходів (рілля), поліпшенням (луки і пасовища), удобренням, використанням продукції лі-

Таблиця 2. Значення коефіцієнта морфології рельєфу (S_f)

Характеристика	Значення характеристики	Коефіцієнт S_f
Крутизна схилу	Клас 1 – 0–1°	1
	Клас 2 – 1–5°	0,9
	Клас 3 – 5–20°	0,8
	Клас 4 – 20–40°	0,6
	Клас 5 – >40°	0,3

Таблиця 3. Значення коефіцієнта інтенсивності акумуляції стоку (R_a)

Характеристика	Значення характеристики	Коефіцієнт R_a
Інтенсивність акумуляції стоку	Клас 1 – висока	3
	Клас 2 – середня	1,4
	Клас 3 – низька	0,3

Таблиця 4. Значення коефіцієнта забруднення території ^{137}Cs (S_c)

Рівень забруднення території ^{137}Cs , кБк/м ² , відповідно до легенди карти	Коефіцієнт S_c
<2	1,0
2–4	1,1
5–10	1,4
11–20	2,3
21–40	7,1
41–100	10,3
101–185	15,8
186–555	25,6
556–1480	48,6
>1480	73,5

сового походження (деревина, дикорослі гриби та ягоди, лікарська сировина, дичина) (табл. 6).

Дозоване навантаження населення досліджуваної території (D_y) визначено за загальнодоступними даними Загальнодозиметричної паспортизації в населених пунк-

Таблиця 5. Значення коефіцієнта типу наземного покриття (P_t)

Код	Тип наземного покриття	Коефіцієнт P_t
20	Чагарники	1,3
30	Трав'яна рослинність (луки)	1,6
40	Сільськогосподарські угіддя	1,5
50	Забудована територія (урботериторія)	1,0
60	Відкритий ґрунт / рідка рослинність	1,2
80	Водні об'єкти	1,0
90	Водно-болотні угіддя	1,7
111	Густий хвойний ліс (проективне покриття кронами дерев >70%)	2,0
112–114	Густий широколистяний ліс (проективне покриття кронами дерев >70%)	1,9
121	Хвойний ліс, рідколісся (проективне покриття кронами дерев 15–70%)	1,8
122	Широколистяний ліс, рідколісся (проективне покриття кронами дерев 15–70%)	1,6
115, 116, 125, 126	Мішаний ліс	1,7

Таблиця 6. Значення коефіцієнта рівня антропогенного навантаження (P_c)

Код	Досліджувані ландшафти чи їх елементи	Коефіцієнт P_c
20	Чагарники, сади	0,9
30	Трав'яна рослинність (луки, пасовища)	1,3
40	Сільськогосподарські угіддя	0,8
60	Відкритий ґрунт / рідка рослинність	1,1
80, 90	Водно-болотні угіддя	2,8
111	Густий хвойний ліс (проективне покриття кронами дерев >70%)	3,3
112–114	Густий широколистяний ліс (проективне покриття кронами дерев >70%)	2,9
121	Хвойний ліс, рідколісся (проективне покриття кронами дерев 15–70%)	2,9
122	Широколистяний ліс, рідколісся (проективне покриття кронами дерев 15–70%)	2,4
115, 116, 125, 126	Мішаний ліс	2,6

тах України [25]. Використовують дані по найближчому населеному пункту.

Коефіцієнт дозованого навантаження на населення визначається 4-ма позиціями (табл. 7).

Варто зазначити, що радіоекологічне районування та відповідне картографування агроландшафтів має передбачати ландшафтний підхід з інтегруванням даних низки тематичних карт за принципом сітки

Таблиця 7. Значення коефіцієнта дозованого навантаження на населення (D)

Рівень дозованого навантаження на населення, мЗв/рік	Коефіцієнт D
>5	2,8
1–5	1,9
0,1–1,0	1,1
<0,1	1,0

(радіоекологічні чинники мають бути подані в комірках регулярної сітки залежно від обраного масштабу простору). Інформація щодо відповідної характеристики територій представлена картографічними даними із відкритих джерел інформації з метою економії часу і ресурсів на їх отримання. Однак для локального рівня потрібна передбачена можливість використання даних безпосередніх вимірювань чи математичного моделювання.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження доводить, що розробка інтегрованої радіоекологічно-ландшафтної карти Полісся України на основі комплексного показника радіоекологічної критичності є ключовим інструментом для оцінки та прогнозування динаміки радіоекологічного забруднення в регіоні. Інтеграція природних (грунтовий покрив, гідрологія, рельєф) та антропогенних (сільськогосподарське використання, дозоване навантаження тощо) чинників допомогла створити багатопланову модель, яка не лише відображає поточний стан території, але й визначає зони підвищеного ризику для населення та агроєкосистем.

Важливим результатом є обґрунтування необхідності використання відкритих

геопросторових даних (Copernicus, SRTM, Harmonized World Soil Database тощо) у поєднанні з локальними радіометричними вимірюваннями. Такий підхід значно знижує витрати на моніторинг і забезпечує оперативне оновлення інформації, що особливо актуально в умовах обмежених ресурсів післявоєнного відновлення. Встановлено, що традиційне зонування, засновано виключно на щільності забруднення ґрунтів, недостатньо для повноцінної оцінки ризиків, оскільки не враховує ландшафтну міграцію радіонуклідів та їх накопичення в харчових ланцюгах.

Розроблений комплексний показник радіоекологічної критичності демонструє чутливість до змін у структурі землекористування, що дає можливість прогнозувати наслідки рекультивативної забруднених земель або їх виведення з сільськогосподарського обігу.

Отримані результати підтверджують ефективність застосування ГІС-методів і дистанційного зондування для радіоекологічного моніторингу великих територій. Запропонована методологія дає змогу не лише ідентифікувати критичні ділянки, але й оптимізувати управлінські рішення щодо реабілітації земель з урахуванням європейських стандартів екологічної безпеки. Це становить наукову основу для подальших досліджень із моделювання радіонуклідного переносу в різних сценаріях кліматичних змін та антропогенного навантаження.

Тому, ця робота є внеском у розвиток радіоекології та практичне впровадження геоінформаційних технологій для забезпечення сталого розвитку постраждалих від радіаційного забруднення регіонів.

ЛІТЕРАТУРА

- Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (б. д.). *Національна доповідь України. Радіоекологічні наслідки. Динаміка радіоактивного забруднення наземних екосистем та ефективність захисних заходів. Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього*. URL: <https://komekolog.rada.gov.ua/uploads/documents/36564.pdf>.
- Чоботько, Г. М., Райчук, Л. А., Швиденко, І. К., Уманський, М. С., & Лябах, С. В. (2022). *Методичні рекомендації щодо оцінки можливості повернення радіоактивно забруднених земель Українського Полісся в сільськогосподарське виробництво*. Київ: ДІА.
- Кучма, Т. Л., Райчук, Л. А., & Швиденко, І. К. (2021). Радіоекологічне районування ландшафтів як різновид прогнозного радіоекологічного моніторингу. *Граль науки*, 4, 166–172. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.07.05.2021.030>.

4. Лев, Т. Д., Пристер, Б. С., Виноградська, В. Д., Тищенко, О. Г., & Піскун, В. Н. (2018). Басейно-ландшафтний принцип в оцінюванні ступеня радіоекологічної критичності території України. *Український географічний журнал*, 4(104), 49–58. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2018.04.049>.
5. Пристер, Б. С., Барбашев, С. В., Виноградская, В. Д., & Тищенко, О. Г. (2013). Комплексное радиоэкологическое районирование территории в целях усовершенствования систем контроля, мониторинга и аварийного реагирования в зонах влияния АЭС. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*, 21, 74–82. URL: <http://jnas.nbu.gov.ua/article/UJRN-0000140526>.
6. Паньковська, Г. П., Райчук, Л. А., & Качур, Д. (2010). Сучасні пріоритети розвитку аграрного виробництва на радіоактивно забруднених територіях Українського Полісся. *Екологічні проблеми сільськогосподарського виробництва* (с. 187–189). Київ: ІА УААН.
7. Chobotko, H., Raichuk, L., Cherniavskiy, A., Liubashenko, N., & McDonald, I. (2019). Complex analysis and mathematical modeling of the internal exposure dose of the Ukrainian Polissya rural population. *Nuclear Physics and Atomic Energy*, 20(4), 397–404. DOI: <https://doi.org/10.15407/jnpae.2019.04.397>.
8. Landin, V., Chobotko, H., & Raichuk, L. (2020). The formation of current internal exposure doses of the Ukrainian Polissya rural population. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(6), 249–254. DOI: https://doi.org/10.15421/2020_290.
9. Aarkrog, A. (1979). *Environmental studies on radioecological sensitivity and variability with special emphasis on the fallout nuclides ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs* (Report No. Risø-R-437, Part 1). Risø National Laboratory.
10. Howard, B. J. (2000). The concept of radioecological sensitivity. *Radiation Protection Dosimetry*, 92(1–3), 29–34. URL: https://www.academia.edu/19144532/The_Concept_of_Radioecological_Sensitivity.
11. International Atomic Energy Agency. (2013). *Environmental sensitivity in nuclear emergencies in rural and semi-natural environments (IAEA-TECDOC-1719)*. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1719_web.pdf.
12. Виноградська, В. Д. (2014). Прогнозування забруднення сільськогосподарської продукції ¹³⁷Cs з використанням моделі поведінки радіонукліду в системі «грунт — рослина». *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*, 2(1), 13–20. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhnau_2014_2\(1\)_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhnau_2014_2(1)_4).
13. Пристер, Б. С. (2008). *Проблеми сільськогосподарської радіоекології та радіобіології при забрудненні навколишнього середовища молодий сумішшю продуктів ядерного делення*. Чернівці.
14. Шевченко, О. Л., & Акініф'єв, Г. О. (2020). Генералізація чинників залучення радіонуклідів до водної міграції. *Геомілія техногенезу*, 31, 41–52.
15. Шевченко, О. Л., & Бублясь, В. М. (2013). Роль западинного мікрорельєфу та інших чинників у формуванні водного вивезення радіоактивного стронцію. *Збірник наукових праць УкрДГРІ*, 3, 84–97.
16. Пазинич, Н. В., & Філіпович, В. Є. (2014). Аналіз впливу рельєфу на поверхневий перерозподіл радіонуклідів територій, що зазнали радіаційного забруднення (на прикладі зон відчуження атомних електростанцій Чорнобиль і Фукусіма–1). *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 3, 40–43.
17. Паренюк, О., Рубан, Ю., Нестерова, Н., & Шаванова, К. (2020). Вплив рельєфу на формування дозового навантаження на АЕС Фукусіма-1. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Сер.: Біологічні науки*, 2(390), 45–49. DOI: <https://doi.org/10.29038/2617-4723-2020-390-2-45-49>.
18. Громик, О. М. (2012). Вміст радіонуклідів у ґрунтах Західного Полісся (на прикладі Маневицького та Любешівського адміністративних районів). *Географія та туризм*, 18, 301–308.
19. Краснов, В. П., Орлов, А. А., Бузун, В. А., Ландін, В. П., & Шелест, З. М. (2007). *Прикладна радіоекологія лісу Полісся*.
20. Перцьовий, І. В. (2013). Формування дози внутрішнього опромінення сільського населення, що проживає на радіоактивно забруднених територіях лісостепової. *Агробіологія: Збірник наукових праць*, 10(100), 44–47.
21. Розпутній, О. І., Перцьовий, І. В., Скиба, В. В., & Герасименко, В. Ю. (2016). Радіоекологічна ситуація на присадибних ділянках південної частини Київської області у віддалений період після Чорнобильської катастрофи. *Вісник ЖНАЕУ*, 1(55), 101–109.
22. Ткачук, В. П., & Ковальов, В. Б. (2018). Вплив механічного обробітку та удобрення на міграцію радіоцезію в орному шарі дерново-підзолистого ґрунту. *Агропромислове виробництво Полісся*, 11, 110–113.
23. Ліхтарьов, І. А., Ковган, Л. М., Іванова, О. М., Масюк, С. В., Чепурний, М. І., Бойко, З. Н., ... Губіна, І. Г. (2016). Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України та реконструкція індивідуалізованих доз суб'єктів державного реєстру України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи (досвід, результати та перспективи). *Журнал НАМН України*, 22(2), 208–221. URL: http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&image_file_name=PDF/jnamnu_2016_22_2_11.pdf.
24. Raichuk, L., Kuchma, T., Shvydenko, I., Chobotko, H., Umanskiy, M., & Baranovska, N. (2025). Components of the comprehensive radioecological criticality index (RECI) for territories [Data set]. *Zenodo*. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15133442>.
25. International Atomic Energy Agency (IAEA). (2012). *Загальнодозиметрична паспортизація та результати ЛВЛ моніторингу в населених пунктах України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської катастрофи. Дані за 2011 р. Збірник 14*. Київ. URL: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/52/022/52022270.pdf.

Стаття надійшла до редакції журналу 25.02.2025

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МОДИФІКОВАНОГО ІНДЕКСУ EVI-S У СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ

Д.П. Васильєв, Т.В. Ільєнко

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

Дослідження присвячено вивченню ефективності спектральних вегетаційних індексів, що найчастіше використовуються у методах дистанційного зондування Землі, зокрема NDVI, EVI, EVI2, SAVI та запропоновано модифікований індекс EVI-S (EVI-SAVI Hybrid). Метою роботи був аналіз їх можливостей щодо точності оцінки стану та щільності рослинного покриву, чутливості індексів до ґрунту й густоти рослинності. Також запропоновано й випробувано новий модифікований індекс EVI-S, який є модифікацією EVI та SAVI, на різних типах ландшафтів. Об'єктом дослідження стала Феодосіївська громада Київської обл., що поєднує природні лісові екосистеми, водойми, сільськогосподарські угіддя та урбанізовані зони. Для отримання даних використано супутникові знімки Sentinel-2 (L2A) з атмосферою корекцією за літній період із нульовою хмарністю. Попередня обробка передбачала геометричну корекцію, обрізку зображень та перетворення їх до єдиної проєкції. Подальший розрахунок індексів здійснено у середовищі QGIS за допомогою калькулятора растрів Semi-Automatic Classification Plugin. Було оцінено мінімальні, максимальні, середні й медіанні значення кожного індексу, а також проведено зональну статистику для різних типів територій (ліс, поле та забудова). Отримані результати загалом показали високу кореляцію між усіма індексами, що вказує на їх подібну чутливість до фотосинтетично активної рослинності та принцип роботи. Зауважено, що EVI-S продемонстрував дещо відмінний характер розподілу значень, що свідчить про розширені можливості в оцінці густоти вегетації та фаз її розвитку. Особливо чітко ця різниця виявилася у густих лісових масивах і на сільськогосподарських ділянках із високим рівнем біомаси, де EVI-S був значно вищим за показники інших індексів. Індекс EVI-S може істотно доповнити існуючий набір вегетаційних індексів, надаючи більш точну інформацію про стан і динаміку розвитку рослинності в умовах різноманітних ландшафтних середовищ. Результати дослідження формують основу для подальших розробок у сфері екологічного моніторингу та раціонального використання природних ресурсів.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, стан рослинності, опустелювання, насичення індексів, супутникові знімки.

ВСТУП

Методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є потужним інструментом для здійснення екологічного моніторингу та проведення досліджень стану навколишнього середовища на тій чи іншій території. Вони забезпечують отримання об'єктивної інформації для виявлення змін у рослинному покриві для оцінки стану ландшафтів та виявлення негативних тенденцій. Аналіз стану рослинності за даними ДЗЗ є одним із найпоширеніших підходів у сучасних екологічних дослідженнях, який дає мож-

ливість ефективно оцінювати масштаби антропогенних та природних змін у біосфері.

Україна знаходиться у зоні помірного клімату, який має сприятливі умови для розвитку рослинності та ведення сільськогосподарства. Значна частина території країни зайнята сільськогосподарськими угіддями, які відіграють ключову роль в економіці та забезпеченні продовольчої безпеки. Водночас, аграрний сектор України стикається з викликами, пов'язаними зі змінами клімату, ерозійними процесами та антропогенним впливом, які є передумо-

вою деградації ґрунтів. Виявлення та моніторинг таких процесів — одна з ключових умов для забезпечення сталого розвитку агросфери та раціонального використання природних ресурсів.

У контексті екологічного моніторингу важливим завданням є оцінка змін рослинного покриву та їхнього впливу на довкілля. Використання даних ДЗЗ надає можливість відстежувати ці процеси у динаміці, що здатні ухвалювати своєчасні управлінські рішення задля збереження екосистем та ефективного управління сільськогосподарськими землями. Особливу роль у таких дослідженнях відіграють спектральні індекси. Вони дають можливість, зокрема, визначати стан рослинності, оцінювати рівень її продуктивності та щільність, а також виявляти зміни, спричинені як природними, так і антропогенними чинниками.

У цьому дослідженні розглядається можливість застосування різних спектральних індексів для оцінки стану рослинного покриву та запропоновано новий підхід до аналізу змін рослинності, який може бути використано для удосконалення систем екологічного моніторингу.

Мета цієї роботи — здійснити всебічний аналіз можливостей застосування вегетаційних індексів для оцінки стану рослинного покриву в різних ландшафтних умовах, розробити, обґрунтувати та апробувати новий модифікований індекс EVI-S, що поєднує переваги SAVI та EVI2 без атмосферної корекції, а також оцінити його ефективність та доцільність використання порівняно з існуючими індексами.

Зокрема, дослідження спрямовано на:

- виявлення та систематизацію ключових підходів і методів застосування NDVI, EVI, EVI2, SAVI та EVI-S у різних природних умовах, включаючи зони густої та рідкої рослинності, забудовані території та сільськогосподарські території;
- оцінку чутливості нового індексу EVI-S до впливу ґрунтового фону та особливостей рослинного покриву;
- визначення придатності EVI-S для моніторингу змін рослинного покриву, ана-

лізу процесів деградації земель та екологічного моніторингу.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Використання спектральних індексів для оцінки стану рослинності стало одним із ключових інструментів визначення стану рослинності засобами ДЗЗ завдяки появі мультиспектральних супутникових знімків високої роздільної здатності у відкритому доступі. Найпоширенішими індексами, що використовуються для цих цілей, є NDVI, SAVI, EVI та їх модифікації.

Останні дослідження підтвердили, що кожен із цих індексів має свої переваги та обмеження, що залежать від особливостей ландшафту, ґрунтового фону, кліматичних умов та типу рослинного покриву. NDVI залишається одним із найстаріших і найбільш використовуваних індексів, проте має істотну чутливість до впливу ґрунту та атмосферних чинників. SAVI розроблено для мінімізації впливу ґрунту на розрахунок індексу рослинності. EVI, своєю чергою, був запропонований як покращена версія NDVI, з більшою стійкістю до насичення в областях із густою рослинністю та компенсацією атмосферних впливів [1].

Дослідження використання вегетаційних індексів акцентують увагу на ефективності цих індексів у різних природних умовах. У дослідженні Nwilo, Okolie, Umar та ін. [2] на прикладі району озера Чад показано, що NDVI, EVI та SAVI можуть ефективно використовуватися для виявлення змін ґрунтового покриву, до того ж між цими індексами встановлено високий коефіцієнт кореляції. У роботі Matsushita B., Yang W., Chen J. та ін. [3] розглянуто вплив топографії на прикладі щільних насаджень кипариса. Визначено, що за рахунок коригувального коефіцієнта «L» EVI є більш чутливим до рельєфу, ніж NDVI, та потребує додаткової топографічної корекції. У праці Shibani N., Pandey A., Satyam V.K. та ін. [4] проаналізовано варіації NDVI, SAVI та EVI у штаті Пенджаб (Індія), та виявлено, що ці індекси по-різному реагують на зміни в агроландшафтах, а NDVI

та SAVI мають тісний взаємозв'язок, вказуючи на схожість у відображенні стану рослинного покриву. Досвід Pamungkas S. [5] присвячений оцінці щільності мангрових лісів у прибережній зоні. Дослідження проведено з використанням NDVI, EVI2 та SAVI. Автор зауважує, що відмінності у показниках індексів на ґрунтові та водні параметри дають можливість підвищити точність густоти рослинності. У роботі [6] (Trevisiol F., Mattivi P., Mandanici E. та ін.) здійснено порівняльний аналіз NDVI, EVI, SAVI, NDMI у рамках гармонізації даних Landsat і Sentinel. Вчені підкреслюють важливість узгодження відбиття поверхні з метою забезпечення коректних часових рядів у масштабних моніторингових системах. У роботі Gaitán J.J., Bran D., Oliva G. та ін. [7], присвяченій степовим екосистемам Патагонії, наведено дані про кореляцію NDVI з індикаторами інфільтрації та кругообігу поживних речовин. Дослідження демонструє значний потенціал застосування багатоспектральних індексів для відстеження просторової мінливості рослинного покриву. У праці Zhen Z., Chen S., Yin T. та ін. [8] увагу зосереджено на використанні негативного коефіцієнта коригування у формулі SAVI для пом'якшення ефекту насичення в регіонах із густою рослинністю. Такий підхід дав змогу точніше оцінити Leaf Area Index в умовах високої щільності біомаси. У роботі [9] запропоновано GDVI (Generalized Difference Vegetation Index), та наголошено на його підвищеній чутливості до низької рослинності порівняно з NDVI, SAVI та EVI. Це підтвердило ефективність нового індексу у здійсненні моніторингу деградації земель у посушливих зонах. Silva Junior U.J., Gonçalves R.M., Oliveira L.M.M. та ін. у своїй роботі [10] дослідили GNDVI, NDVI, EVI у сезонно-сухих прибережних лісах. Виявлено, що перші два краще ідентифікують узбережні ділянки, тоді як EVI виразніше фіксує водну поверхню, що вказує на доцільність комбінованого застосування індексів. Mutie F.N. у роботі [11] аналізує можливості моделювання посухи на основі EVI, NDVI, SAVI та інших показників. Встановлено, що SMI, VCI та NDWI

мають найтісніший зв'язок із вегетаційними індексами. Результати вказують на доцільність комплексного підходу до оцінки стану рослинності. У роботі Jiang H., Wu B., Wang X. [12] запропоновано індекс TAVI, де до даних у ближньому інфрачервоному та червоному каналах додається спеціальний коефіцієнт топографічного коригування для зменшення впливу складного рельєфу без застосування цифрової моделі висот.

Загальний аналіз наведених робіт демонструє зосередження дослідників на порівнянні спектральних індексів для вивчення рослинного покриву за різних ландшафтно-кліматичних умов, а також на удосконаленні формул, зокрема через коригування впливів ґрунту чи топографічної компоненти. Дослідження спрямовані на підвищення точності визначення рослинності та уникнення проблем пов'язаних з обмеженнями того чи іншого індексу.

Більшість досліджень підтверджують ефективність NDVI, SAVI та EVI, та їх успішне застосування для аналізу різних типів рослинності, включаючи лісові та сільськогосподарські угіддя, прибережні зони й посушливі регіони. Виявлено стабільно високу кореляцію між традиційними індексами. Отже, виявлено їхню схожість у відображенні основних спектральних характеристик рослинного покриву. До того ж проблема насичення на ділянках із високою щільністю біомаси залишається актуальною, і більшість досліджень спрямовані на пошук методів зменшення втрат інформації, у випадках досягнення максимальних значень індексу.

Індекси відрізняються також чутливістю до ґрунтового фону. NDVI значно залежить від кольору та вологості ґрунту, тоді як у SAVI та EVI реалізовано коефіцієнти корекції. Вплив рельєфу також виявляється важливим чинником, оскільки EVI є досить чутливим до кривизни рельєфу, в той час як NDVI демонструє стабільність у гористій місцевості. Використання модифікованих формул свідчить про різні підходи до вирішення проблеми точності оцінки рослинного покриву.

Різноманітні адаптації індексів, як-от EVI2 без синього каналу, GDVI для посушливих зон або TAVI із топографічним компонентом, створюють більш універсальний набір методів, який дає можливість врахувати специфічні умови ландшафту та клімату. Спостерігається тенденція до використання удосконалених формул та комбінування методів для забезпечення точності аналізу стану рослинності.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проведено на території Феодосійської територіальної громади, яка розташована в Київській обл. та належить до лісостепової зони України і включає 8 населених пунктів. Площа території громади становить близько 115 км² [13]. Ландшафт місцевості переважно рівнинний, із характерними для Лісостепу хвилястими формами рельєфу. Територія громади поєднує природні екосистеми та сільськогосподарські угіддя, які становлять значну частину її земельного фонду. Наявні водні об'єкти на цій території відіграють важливу роль у підтриманні водного балансу.

Помірний клімат, притаманний даній місцевості, характеризується м'якими зимами та теплим літом. Середньорічна температура повітря коливається від +7 до +9°C, а річна кількість опадів сягає близько 500–600 мм [14]. Зими зазвичай малосніжні, а літо помірно вологе. Територія має сприятливі умови для розвитку природної рослинності та ведення аграрного виробництва.

Ґрунтовий покрив території громади складається переважно з родючих чорноземів, які є одними з найпродуктивніших для сільського господарства. В даному районі домінують глибокі чорноземи на лесових породах, а також сірі та темно-сірі опідзолені ґрунти, характерні для лісостепової зони України [15; 16]. Також на території трапляються сірі та темно-сірі лісові ґрунти, які мають високу родючість і використовуються для вирощування зернових культур, овочевих насаджень і садівництва.

Природний ландшафт громади гармонійно поєднується із забудовою, яка представлена як сільськими поселеннями, так і сучасними житловими масивами, розвинутою інфраструктурою й промисловими об'єктами. Територія громади активно освоюється для ведення аграрного виробництва, водночас зберігаючи значні площі природних лісових масивів.

Поєднання сприятливих кліматичних умов, родючих ґрунтів, водних ресурсів і розвинутої інфраструктури робить Феодосійську громаду не лише важливим аграрним та екологічним осередком регіону, а й перспективним об'єктом для дослідження. Саме ця територія надає можливість оцінити ефективність різних спектральних індексів у моніторингу змін рослинного покриву, аналізувати вплив природних і антропогенних чинників на стан сільськогосподарських угідь та визначати оптимальні підходи до екологічного моніторингу.

У цьому дослідженні використовуються методи дистанційного зондування Землі із застосуванням супутникових знімків Sentinel-2. Дані обробляються в середовищі QGIS за допомогою Semi-Automatic Classification Plugin (SCP). В рамках роботи здійснюється комплексний аналіз літературних джерел, наукових публікацій, патентних матеріалів та інших інформаційних ресурсів, що стосуються використання спектральних індексів для оцінки змін рослинного покриву.

Процес дослідження включає отримання супутникових даних шляхом завантаження Sentinel-2 через QGIS SCP, з відбором знімків відповідно до сезону та умов освітлення. Після отримання даних здійснюється їх попередня обробка. Вона включає корекцію радіометричних і геометричних параметрів, а також обрізку зображень по межах досліджуваної території. Далі проводиться розрахунок спектральних індексів NDVI, EVI, EVI2, SAVI та запропонованого EVI-S за допомогою калькулятора растрів в QGIS, з отриманням растрових індексних шарів у результаті.

Після обробки знімків здійснюється аналіз отриманих даних. Проводиться по-

рівняння ефективності різних індексів, оцінюється їхня чутливість до впливу ґрунтового фону та щільності рослинного покриву. Для виявлення закономірностей у розподілі індексних значень застосовуються методи геостатистичного аналізу та просторового моделювання. Отримані результати дадуть змогу оцінити ефективність нового індексу EVI-S порівняно з традиційними підходами, а також сформулювати рекомендації щодо його практичного використання у дослідженнях рослинного покриву.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Спектральні індекси широко застосовуються для оцінки стану рослинного покриву, проте їх ефективність залежить від особливостей ландшафту, типу рослинності та атмосферних умов. Серед найпоширеніших індексів варто виділити NDVI, EVI, EVI2, SAVI, а також запропонований у цьому дослідженні модифікований індекс EVI-S.

Нормалізований диференційний індекс рослинності (NDVI) є одним із найрозповсюдженіших і найстаріших спектральних індексів, що використовується для оцінки вегетації. Він розраховується за формулою (1):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

де NIR — відбиття у ближньому інфрачервоному діапазоні, а RED — відбиття у червоному спектральному діапазоні [17; 18].

NDVI дає змогу оцінювати рівень фотосинтетичної активності рослинного покриву. Високі значення NDVI відповідають густій зеленій рослинності, тоді як низькі значення свідчать про відсутність рослинності або її поганий стан. Основними обмеженнями цього індексу є чутливість до ґрунтового фону та атмосферних впливів.

Розширений індекс рослинності (EVI) розроблено для компенсації деяких обмежень NDVI, як-от вплив ґрунту та атмосферних часток [19–21]. Формула індексу (2) має вигляд:

$$EVI = 2,5 \times \frac{NIR - RED}{(NIR + C_1 \times RED - C_2 \times BLUE + L)}, \quad (2)$$

де $C_1=6$, $C_2=7,5$, $L=1$ — коефіцієнти корекції, а BLUE — відбиття у синьому спектральному діапазоні.

На відміну від NDVI, EVI має підвищену чутливість до густої рослинності та забезпечує атмосферну корекцію. Однак залежність від синього каналу може обмежувати його застосування у випадках, коли цей канал недоступний або має значні атмосферні спотворення.

Двосмуговий розширений індекс рослинності (EVI2) досліджено для модифікації EVI [22], що виключає синій спектральний канал, і як наслідок спрощує розрахунок індексу та робить його менш чутливим до атмосферного впливу. Формула EVI2 (3) подано так:

$$EVI2 = 2,5 \times \frac{NIR - RED}{(NIR + 2,4 \times RED + 1)}. \quad (3)$$

Цей індекс має більшість переваг EVI, але не залежить від синього спектрального діапазону.

Скорегований індекс рослинності ґрунту (SAVI) розроблено для регіонів із низьким рівнем рослинного покриву, де ґрунтовий фон значно впливає на спектральні відбиття. Він вводить коригувальний коефіцієнт L (4), який дає змогу мінімізувати вплив ґрунту:

$$SAVI = 2,5 \times \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \times (1 + L), \quad (4)$$

де L зазвичай приймається рівним 0,5 для регіонів із середньою щільністю рослинності. Поправочний коефіцієнт яскравості ґрунту (L) змінюється залежно від щільності рослинності:

- для ділянок з високою щільністю рослинності: $L = 0,25$.
- для ділянок з проміжною щільністю рослинності: $L = 0,5$.
- для ділянок з низькою щільністю рослинності: $L = 1,0$.

SAVI особливо ефективний для аналізу рослинності в напівзасушливих і засушливих регіонах, де традиційні індекси, як-от NDVI, можуть спотворювати результати через домінуючий вплив ґрунту [23–25].

Модифікований індекс EVI-S (EVI-SAVI Hybrid без атмосферної корекції). Для усунення обмежень існуючих індексів у цьому дослідженні запропоновано новий модифікований індекс EVI-S, який поєднує характеристики EVI2 та SAVI. Формула (5) індексу має вигляд:

$$\text{EVI-S} = 2,5 \times \frac{\text{NIR} - \text{RED} \times (1+L)}{\text{NIR} + 2,4 \times \text{RED} + L}, \quad (5)$$

де L – коефіцієнт корекції впливу ґрунту.

EVI-S поєднує переваги SAVI та EVI2. Таке поєднання має забезпечити аналіз рослинного покриву в умовах, де існує значний вплив ґрунтового фону. Також очікується забезпечення більшої точності оцінки стану рослинності без врахування впливу атмосферних чинників.

Хід виконання аналізу спектральних індексів у QGIS. Для дослідження стану рослинного покриву на території Феодосіївської громади використано супутникові знімки Sentinel-2 (L2A) з атмосферною корекцією (Level-2A) та 0% хмарності, отримані за 2024-07-15. Дані було завантажено через Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) та оброблено у QGIS для подальшого розрахунку спектральних індексів.

Після завантаження супутникових даних було виконано їхню попередню обробку, а саме: вирізано область дослідження за межами Феодосіївської громади за допомогою інструмента «Clip Raster by Mask Layer» та перетворено дані у проекцію EPSG: 32636 (WGS 84 / UTM zone 36N) для коректного геопросторового аналізу.

Розрахунок спектральних індексів

Для оцінки стану рослинності було обчислено п'ять спектральних індексів за допомогою Raster Calculator у QGIS:

- NDVI: $(B08 - B04) / (B08 + B04)$.
- EVI: $(B08 - B04) / (B08 + 6 \times B04 - 7,5 \times B02 + 1)$.

- EVI2: $(B08 - B04) / (B08 + 2,4 \times B04 + 1)$.
- SAVI: $(B08 - B04) / (B08 + B04 + 0,5) \times (1 + 0,5)$.
- EVI-S: $2,5 \times (B08 - B04) \times (1 + 0,5) / (B08 + 2,4 \times B04 + 0,5)$.

Візуалізація та графічний аналіз

Після обчислення індексів проведено візуалізацію результатів (рис. 1): всі індексні шари збережено у форматі GeoTIFF для подальшого аналізу.

Виконано класифікацію отриманих даних на 5 зон рослинного покриву:

- Низький рівень рослинності.
- Помірно низький.
- Середній.
- Помірно високий.
- Високий рівень рослинності.

Використано псевдокольорову палітру RdYlGn для покращання візуальної інтерпретації значень індексів (червоний – низька рослинність, зелений – густа рослинність).

Аналізуючи мінімальні та максимальні значення різних індексів, можна зробити висновки про їхню якість та особливості. Індекси мають різні межі значень. Це вказує на їхню різну чутливість до рослинного покриву. Наприклад, EVI-S має найвище максимальне значення (1,886761), що може свідчити про його більшу чутливість до вегетації. В той самий час у NDVI найнижче мінімальне значення (-0,232775). Це є підтвердженням наявності областей із низькою або навіть від'ємною відбивною здатністю, як-от водні об'єкти.

З огляду на ці розрахунки, слід відмітити, що мінімальні значення у всіх індексів близькі до нуля або мають незначні від'ємні значення, що вказує на їх правильну нормалізацію. У випадку EVI-S ширший діапазон значень може означати його здатність краще розрізняти рівні вегетаційного покриву. Однак це припущення вимагає перевірки на наявність можливих аномалій, адже надто високі чи низькі значення можуть бути спричинені шумами або особливостями формули.

Відображення індексів зроблено для візуального порівняння розподілу рослинності. Оскільки діапазони значень не були

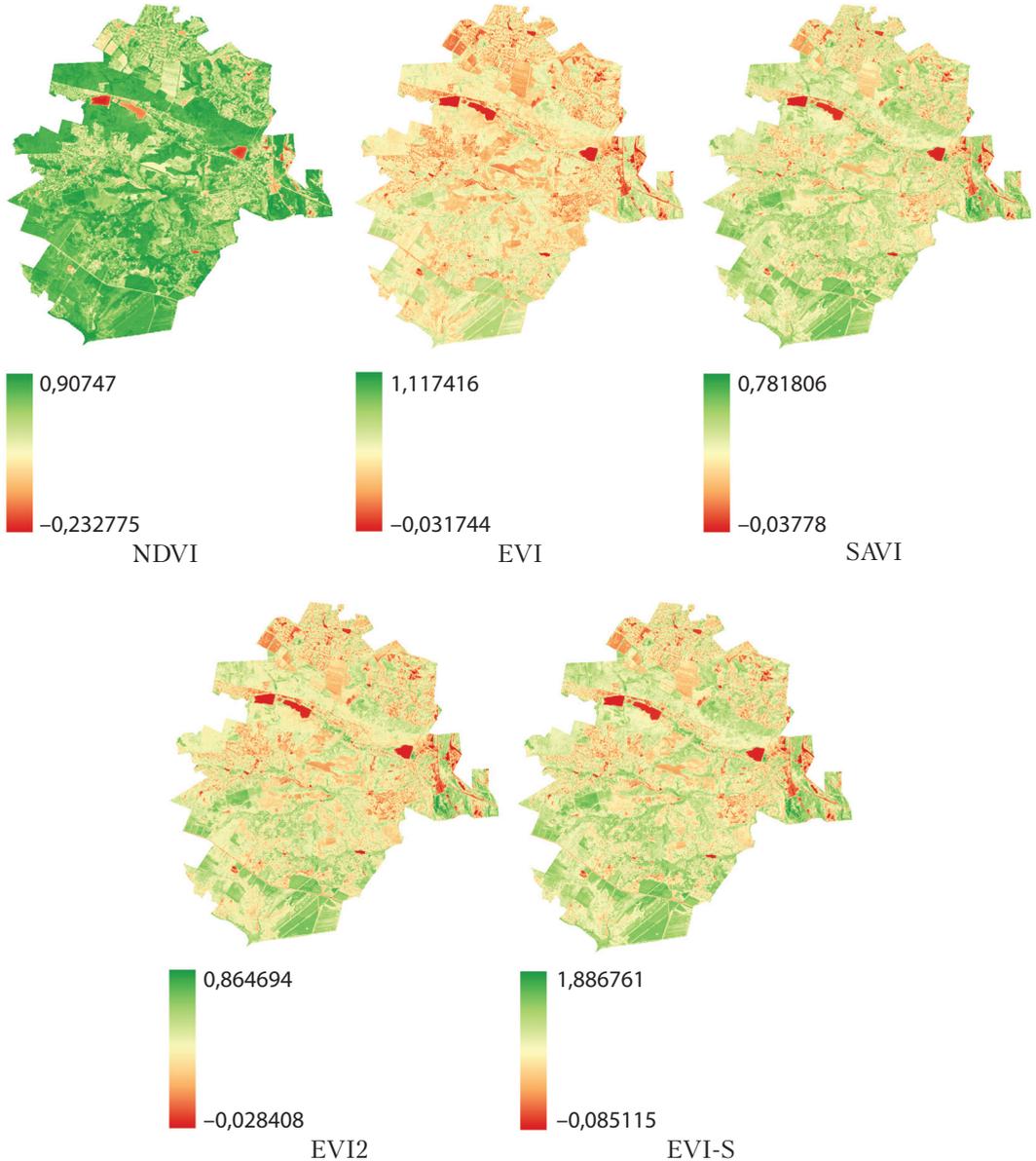


Рис. 1. Візуалізація індексів у початкових межах значень

уніфіковані, безпосереднє порівняння може бути некоректним. Один і той самий регіон може мати різний колір на різних растрах індексів лише через різні шкали, що ускладнює аналіз. Для коректного порівняння слід виставити однаковий діапазон значень, наприклад, від $-0,2$ до $2,0$

або від 0 до $1,5$, залежно від очікуваного розподілу.

EVI-S є новим модифікованим індексом, його вищий діапазон значень може свідчити про більшу чутливість до густоти рослинних покривів, де стандартний EVI може насичуватися. Це також може

означати зменшену залежність від впливу ґрунту чи атмосфери у порівнянні з класичним EVI або використання модифікованих коефіцієнтів у формулі, що змінюють вихідний діапазон. Для визначення його переваг необхідно перевірити, чи не виникають аномально високі значення у місцях, де цього не очікується, а також порівняти результати з іншими індексами на тих самих територіях.

Зображення вищезгаданих індексів із діапазоном значень $-0,2...1,5$ наведено на *рис. 2*.

Зображення NDVI, EVI, SAVI та EVI2 виглядають схожими за кольоровою гамою, домінують жовто-оранжеві відтінки, що свідчить про помірний рівень вегетації в регіоні. SAVI є трохи менш контрастним, що пояснюється його корекцією впливу

ґрунту. EVI2 подібний до EVI, але не використовує синій канал, що може впливати на його точність.

Найбільш контрастним виглядає EVI-S, у ньому чітко виражені зони активної рослинності, які мають насичений зелений колір. Це демонструє, що цей індекс краще розрізняє густу вегетацію. Також на всіх растрах помітні червоні ділянки, що вказує на території з відсутньою рослинністю та водойми.

Завдяки порівнянню растрів у однаковому діапазоні значень можна зробити висновок, що EVI-S дає найбільш контрастну картину розподілу рослинності, тоді як NDVI, EVI, SAVI та EVI2 демонструють більш рівномірний перехід значень без таких різких відмінностей. Це вказує на можливість кращої диференціації рослин-

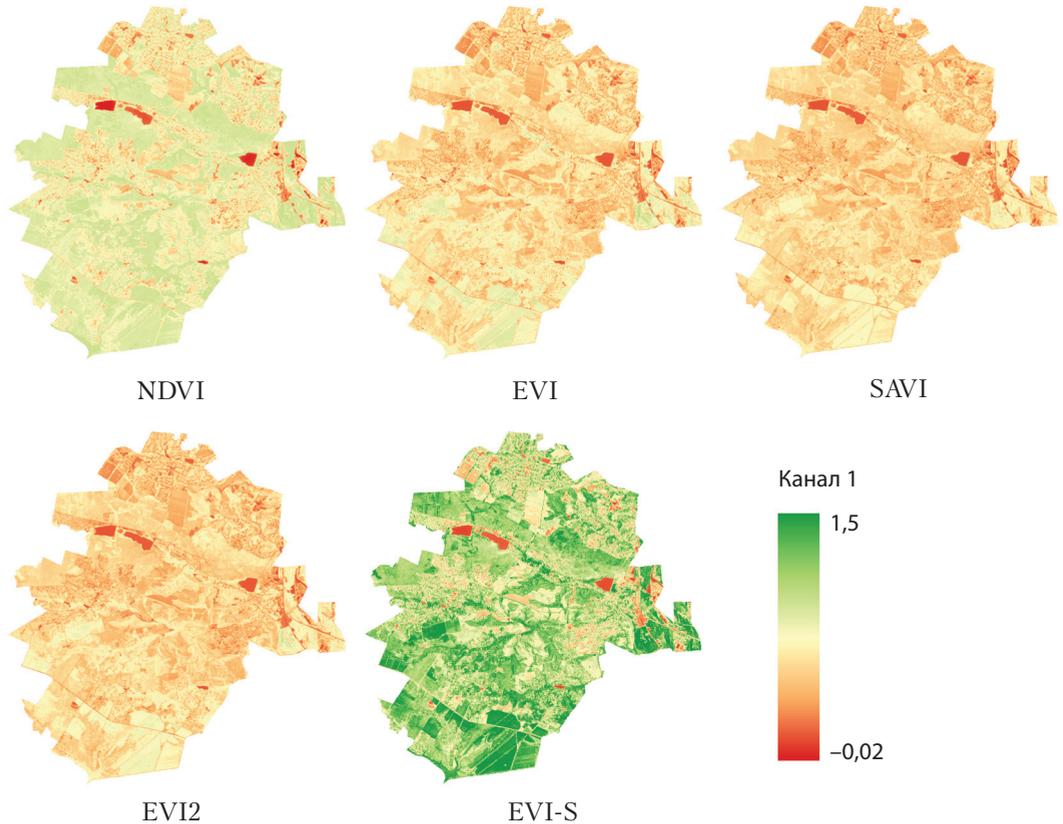


Рис. 2. Візуалізація індексів у межах значень $-0,2...1,5$

ного покриву за допомогою EVI-S. Нижче запропоновано дані зональної статистики для всього дослідного полігону (табл. 1).

Значення даних зональної статистики показують найвищі середні та максимальні значення EVI-S, що підтверджує кращу диференціацію вегетаційних рівнів. NDVI демонструє стабільні значення, але через обмежений діапазон менш чутливий до змін у густоті біомаси.

Для більш детального аналізу доцільно навести дані зональної статистики окремо для лісових масивів, забудованих територій та сільськогосподарських посівів, щоб визначити, як різні індекси реагують різну густоту рослинності та урбанізовані площі.

Для цього за знімками сервісу Google Satellite Map (URL: <https://maps.google.com/maps>) обрано ділянки з відповідними об'єктами ландшафту (рис. 3), для яких отримано дані зональної статистики для

Таблиця 1. Зональна статистика в межах полігону

Індекс	Мінімум	Середнє	Максимум
NDVI	-0,311531	0,671109	0,915961
EVI	-0,215770	0,474458	1,814927
EVI2	-0,105500	0,429297	0,910382
SAVI	-0,117486	0,425206	0,794709
EVI-S	-0,193398	0,984961	1,918320

полігонів «Ліс», «Поле» та «Забудова», що представлено у табл. 2–4.

Згідно з даними зональної статистики, NDVI стабільно розрізняє ліси, поля та забудову, маючи найвищі середні значення у лісах, трохи нижчі на полях і значно менші у забудованій території. EVI та EVI2 виявляють більшу фотосинтетичну активність на полях, ніж у лісах, що може бути пов'язано з активною фазою росту сільськогосподарських культур. SAVI де-

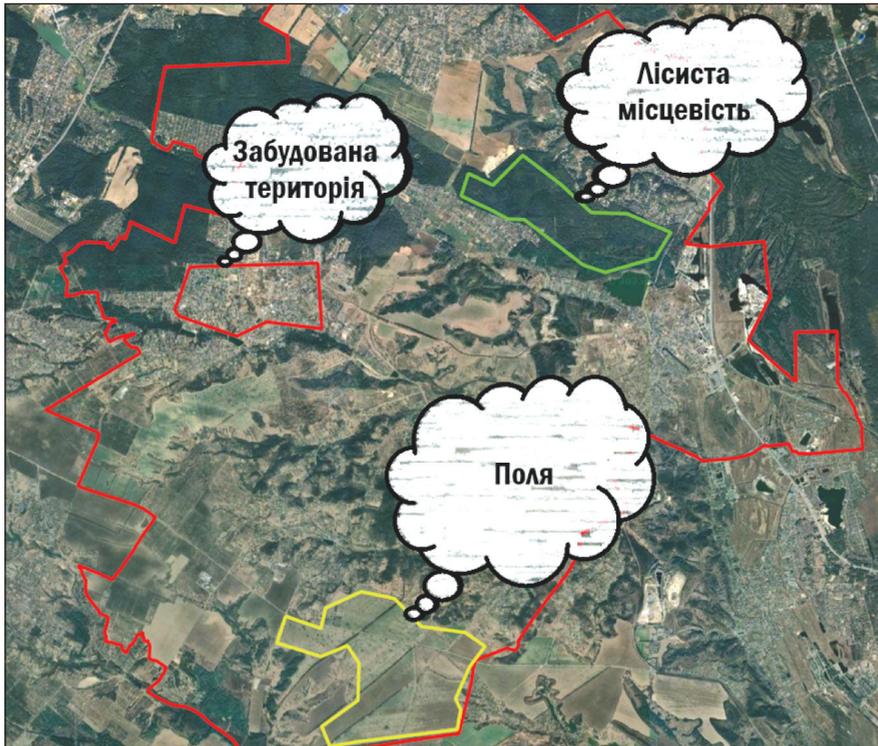


Рис. 3. Вибір полігонів з різними типами об'єктів ландшафту

Таблиця 2. Дані зональної статистики полігону для лісу

Індекс	min	mean	max	median
NDVI	0,259	0,814	0,906	0,819
EVI	0,210	0,525	0,852	0,523
EVI2	0,178	0,477	0,778	0,437
SAVI	0,188	0,473	0,705	0,472
EVI-S	0,377	1,129	1,697	1,127

Таблиця 3. Дані зональної статистики полігону для поля

Індекс	min	mean	max	median
NDVI	-0,011	0,781	0,910	0,805
EVI	-0,002	0,670	0,906	0,709
EVI2	-0,001	0,606	0,829	0,642
SAVI	-0,002	0,573	0,741	0,605
EVI-S	-0,004	1,341	1,787	1,424
EVI-S	-0,084	0,807	1,637	0,824

Таблиця 4. Дані зональної статистики полігону для забудови

Індекс	min	mean	max	median
NDVI	-0,066	0,570	0,883	0,595
EVI	-0,102	0,394	0,818	0,399
EVI2	-0,042	0,354	0,749	0,360
SAVI	-0,047	0,358	0,685	0,368

монструє більш згладжені значення, особливо для полів та забудови. EVI-S має найбільший розкид значень. Високі значення у забудованих територіях вказують на присутність значної кількості дерев та інших рослин між будівлями.

Ліси на зображенні представлені лише суцільним деревним покривом, тому тут NDVI та EVI мають стабільно високі значення. Культури полів на обраному полігоні, згідно всіх п'яти індексів перебувають в активній вегетаційній фазі, містять смуги насаджень уздовж доріг, що пояснює дещо вищі значення індексів, ніж очікувалося для відкритих сільськогосподарських угідь. Забудовані території включають рослинність між будівлями, ймовірно, сади

та сквери, що підвищує середні значення NDVI та EVI-S порівняно з типовими урбанізованими зонами.

EVI-S фіксує високу чутливість до щільності рослинного покриву та фотосинтетичної активності, що було раніше виявлено на знімках, де він показував значно вищі середні та максимальні значення порівняно з іншими індексами. Це робить його більш придатним для виявлення фаз вегетації та оцінки стану рослинності, через здатність краще диференціювати ділянки з інтенсивним ростом та активною біомасою. На відміну від NDVI, який може насичуватися за високої густоти рослинного покриву, EVI-S має ширший динамічний діапазон та дає змогу точніше оцінювати зміну вегетаційного стану у густих лісах, аграрних культурах та змішаних ландшафтах.

Порівняно з EVI та EVI2, EVI-S є більш чутливим до змін у фотосинтетичній активності. Ця особливість може виявитись дуже корисною для моніторингу вегетації на різних стадіях росту. Підвищені значення у міських територіях вказують на чутливість не лише до щільності рослинності, але й на наявність рослинних об'єктів навіть у змішаних ландшафтах (дерева, сади, трава між будівлями). Це може свідчити про можливу переоцінку рослинного покриву в урбанізованих територіях та потребує додаткової перевірки.

Для аналізу кореляції між досліджуваними різними індексами рослинності, представленими у вигляді растрових файлів розроблено Python-скрипт. Далі проводиться розрахунок кореляційної матриці за методом Пірсона. Кореляційна матриця дає змогу визначити рівень взаємозв'язку з ними. Для візуалізації результатів будується теплова карта кореляційної матриці, яка наочно підтверджує ступінь схожості або відмінності між досліджуваними показниками. Кореляцію індексів наведено на рис. 4.

Отримані результати показують, що всі індекси мають значення кореляції, наближені до 1, що очікувано, оскільки їхній загальний принцип роботи є подібним. Найтісніший зв'язок спостерігається між

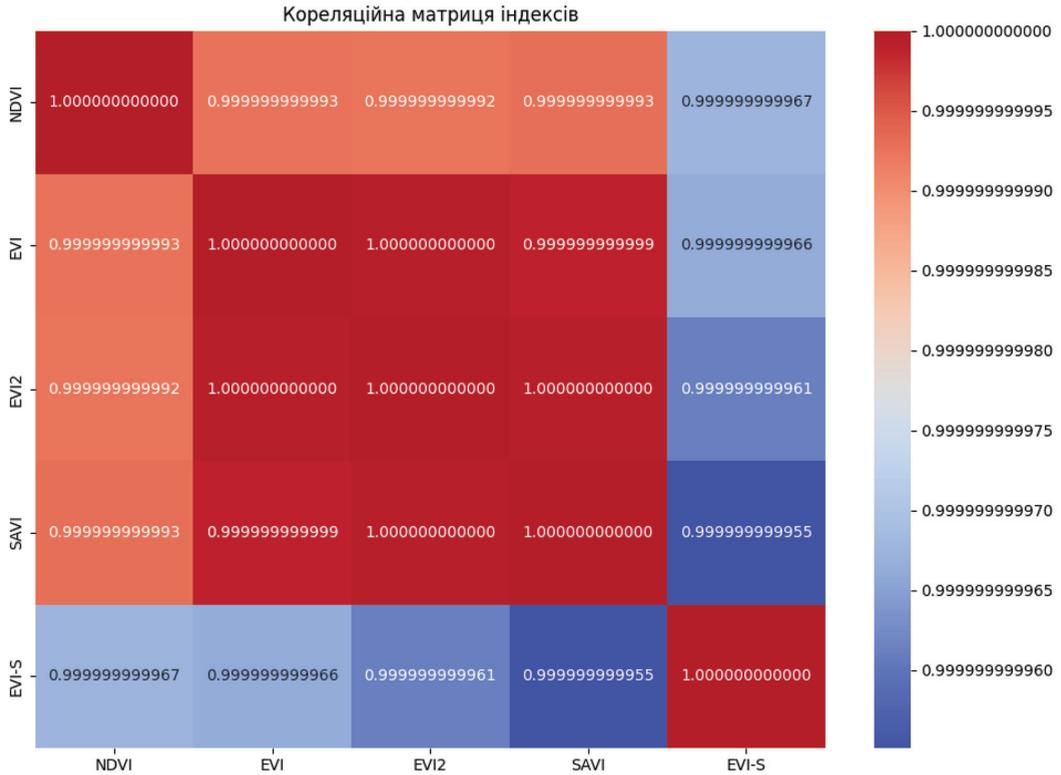


Рис. 4. Кореляційна матриця індексів

EVI, EVI2 та SAVI, які показують майже ідеальну кореляцію. Це підтверджує їхню взаємозамінність у загальних оцінках рослинного покриву, оскільки вони засновані на схожих розрахункових принципах і реагують на однакові спектральні особливості.

NDVI, попри свою високу кореляцію з іншими індексами, фіксує трохи нижчий рівень відповідності, що пояснюється його чутливістю до ефекту насичення за високих значень вегетації та відсутністю механізму корекції впливу ґрунтового фону. Відомо, що такі особливості NDVI впливають на точність його результатів у регіонах із густою рослинністю або змішаними ландшафтами, де присутність відкритого ґрунту створює додаткові спотворення.

Найнеочікуванішим стало те, що EVI-S, який розроблено на основі EVI2 та SAVI,

демонструє найвищу кореляцію саме з NDVI, а не з вихідними індексами. Це вказує на те, що, попри його модифіковану формулу, він зберігає певні характеристики, притаманні NDVI, можливо, через подібну чутливість до структурної неоднорідності покриву. Водночас його відмінність від EVI2 та SAVI пояснюється тим, що він має вищу чутливість до густоти й фізіологічного стану рослинності, а також майже вдвічі ширший масштаб значень. Це показує меншу кореляцію із вихідними індексами, оскільки він поєднує в собі їхні переваги, але при цьому відображає більше варіацій у рослинному покриві.

У складних ландшафтних умовах, як-от міські території, EVI-S може свідчити про ще більші відмінності порівняно з іншими індексами. NDVI та EVI часто занижують рівень рослинного покриву через присут-

ність штучних поверхонь, тоді як EVI-S, завдяки своїй модифікованій нормалізації, може завищувати ці значення. Це пояснює його дещо меншу кореляцію з іншими індексами, а також підтверджує його потенціал у завданнях, що потребують точнішого аналізу щільності та продуктивності рослинності.

З огляду на те, що більшість традиційних індексів можуть використовуватися взаємозамінно, EVI-S надає додаткову інформацію завдяки своїй вищій чутливості. Виявлені особливості модифікованого індексу вказують на його переваги, коли необхідна більш деталізована оцінка стану рослинності або аналіз територій із високою неоднорідністю покриву. Додаткові дослідження можуть допомогти з'ясувати, в яких умовах використання EVI-S дасть найбільші переваги порівняно з іншими індексами.

ВИСНОВКИ

Результати дослідження продемонстрували високу ефективність методів дистанційного зондування Землі у вивченні стану рослинного покриву та підкреслили важливість правильного вибору спектрального індексу для аналізу різних типів ландшафтів. Основний блок традиційних індексів (EVI, EVI2, SAVI) встановив майже повну взаємну кореляцію. Отже підтверджено їхню схожість у відображенні рослинного покриву та взаємозамінність у загальних оцінках вегетації. Втім NDVI та EVI-S, хоч і мають, здавалося б, найбільші відмінності під час порівняння, демонструють найбільшу кореляцію.

Головним досягненням дослідження стала апробація та верифікація шляхом порівняння нового модифікованого індексу EVI-S з класичними вегетаційними індек-

сами. Останній виявився достатньо подібним за характером розподілу значень, але показав істотну відмінність самих значень. Його особлива формула дала можливість підвищити чутливість до густої та активної вегетації та визначення фази росту та стану культур різної щільності біомаси. Аналіз зональної статистики продемонстрував, що EVI-S дає змогу виділити ділянки із щільним рослинним покривом, проте може фіксувати завищені значення у міських територіях із вкрапленнями рослинності між будівлями. Дещо нижча кореляція цього індексу з рештою засвідчила його здатність відображати характеристики, які не охоплюються стандартними індексами, та збагатила загальний інструментарій моніторингу рослинності.

Проведене дослідження підтвердило, що EVI-S може виступати вагомою альтернативою або доповненням до наявних індексів у тих випадках, коли необхідна підвищена чутливість до фаз вегетації або необхідності розрізнення рослинного покриву різної густини у межах різномірних ландшафтних умов. Встановлено, що найбільшу практичну користь від застосування EVI-S можна отримати під час оцінювання стану сільськогосподарських культур у різні періоди росту або для моніторингу лісових масивів із високою біомасою. Водночас було виявлено потребу у подальшому вивченні особливостей його застосування на урбанізованих територіях.

Результати дослідження створюють передумови для подальшого удосконалення систем моніторингу, підвищення точності прогнозування змін в аграрному секторі, а також для прийняття ефективних управлінських рішень щодо збереження та раціонального використання природних ресурсів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Streambatch.io. (б. д.). *In the Field: NDVI, SAVI, EVI Compared*. URL: <https://www.streambatch.io/knowledge/in-the-field-ndvi-savi-evi-compared>.
2. Nwilo, P. C., Okolie, Ch. J., Umar, A. A., Akinnusi, S. A., Ojebibile, B. M., & Olanrewaju, H. O. (2021). Spatial relationship between NDVI, EVI, SAVI and land cover change in the Lake Chad area from 1987 to 2017. *Intercontinental Geoinformation Days*, 3, 128–131. URL: https://www.researchgate.net/publication/356894048_Spatial_relationship_between_NDVI_EVI_SAVI_and_land_cover_change_in_the_Lake_Chad_area_from_1987_to_2017.
3. Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., & Qiu, G. (2007). Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index

- (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-density Cypress Forest. *Remote Sensing of Natural Resources and the Environment*, 7(11), 2636–2651. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs7112636>.
4. Shibani, N., Pandey, A., Satyam, V. K., Bhari, J. S., Karimi, B. A., & Gupta, S. K. (2023). Study on the variation of NDVI, SAVI and EVI indices in Punjab State, India. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1110, 012070. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1110/1/012070>.
 5. Pamungkas, S. (2023). Analysis of vegetation index for NDVI, EVI-2, and SAVI for mangrove forest density using Google Earth Engine in Lembar Bay, Lombok Island. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1127, 012034. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1127/1/012034>.
 6. Trevisiol, F., Mattivi, P., Mandanici, E., & Bitelli, G. (2023). Cross-sensors comparison of popular vegetation indexes from Landsat TM, ETM+, OLI, and Sentinel MSI for time-series analysis over Europe. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 62. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2023.3343071>.
 7. Gaitán, J. J., Bran, D., Oliva, G., Ciari, G., Nakamatsu, V., Salomone, J., ... Maestre, F. T. (2013). Evaluating the performance of multiple remote sensing indices to predict the spatial variability of ecosystem structure and functioning in Patagonian steppes. *Ecological Indicators*, 34, 181–191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.05.007>.
 8. Zhen, Z., Chen, S., Yin, T., Chavanon, E., Laurent, N., Guilleux, J., ... Gastellu-Etchegorry, J.-P. (2021). Using the negative soil adjustment factor of Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) to resist saturation effects and estimate Leaf Area Index (LAI) in dense vegetation areas. *Sensors*, 21(6), 2115. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21062115>.
 9. Wu, W. (2014). The Generalized Difference Vegetation Index (GDVI) for dryland characterization. *Remote Sensing*, 6(2), 1211–1233. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs6021211>.
 10. Silva Junior, U. J., Gonçalves, R. M., Oliveira, L. M. M., & Silva Junior, J. A. (n.d.). Sensibilidade espectral dos índices de vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na mata ciliar do reservatório de Serrinha II — PE, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, 73, 17–35. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv73n1-55252>.
 11. Mutie, F. N. (2023). Vegetation indices as indicators of drought, a remote sensing perspective: A case study of Narok County (Master's thesis, University of Nairobi). University of Nairobi eRepository. URL: <https://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/164103>.
 12. Jiang, H., Wu, B., & Wang, X. (2010). Developing a novel topography-adjusted vegetation index (TAVI) for rugged areas. *2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2075–2078. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2010.5654222>.
 13. Decentralization.ua. (б. д.). *Новостворені громади*. URL: <https://decentralization.ua/newgromada/4092>.
 14. Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського. (б. д.). URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/uk/>.
 15. SuperAgronom.com. (б. д.). Інтерактивна карта ґрунтів України. URL: <https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy#x>.
 16. Геомар.land. (б. д.). *Карта ґрунтів України*. URL: <https://geomar.land.kiev.ua/soil-1-950.html>.
 17. U.S. Geological Survey. (б. д.). *Landsat Normalized Difference Vegetation Index*. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index>.
 18. EOS Data Analytics. (б. д.). *Вегетаційні індекси та їх застосування в агросекторі*. URL: <https://eos.com/uk/blog/vehetatsiini-indeksy/>.
 19. U.S. Geological Survey. (б. д.). *Landsat Enhanced Vegetation Index*. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-enhanced-vegetation-index>.
 20. Soft.Farm. (2015, 1 травня). *Вегетаційні індекси NDVI, EVI, GNDVI, CVI, True color*. URL: <https://www.soft.farm/uk/blog/vegetacijni-indeksi-ndvi-evi-gndvi-cvi-true-color-140>.
 21. Esri. (б. д.). *EVI (Enhanced Vegetation Index)*. URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/3.3/arcpy/image-analyst/evi.htm>.
 22. Sentinel Hub. (б. д.). *EVI2 (Enhanced Vegetation Index 2)*. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/evi2/>.
 23. EOS Data Analytics. (б. д.). *Вегетаційні індекси*. URL: <https://eos.com/uk/blog/vehetatsiini-indeksy/>.
 24. Esri. (б. д.). *SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index)*. URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/arcpy/spatial-analyst/savi.htm>.
 25. U.S. Geological Survey. (б. д.). *Landsat Soil Adjusted Vegetation Index*. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-soil-adjusted-vegetation-index>.

Стаття надійшла до редакції журналу 19.01.2025

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН ТА ГАЛУЗІ КОЗІВНИЦТВА

Р.В. Ставецька, Т.М. Димань, Б.В. Вакула

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

*e-mail: rstavetska@gmail.com; ORCID: 0000-0003-0149-1908
e-mail: tetyanadyman@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6428-1476
e-mail: vakulab@ukr.net; ORCID: 0009-0008-7105-6112*

Зростання населення на нашій планеті ставить нові виклики перед аграрною галуззю — рослинництвом і тваринництвом. Нарощування поголів'я сільськогосподарських тварин і птиці для забезпечення населення продукцією тваринного походження неминуче призводить до зростання негативного впливу на навколишнє середовище через кишкову ферментацію, гній, кормовиробництво тощо. Це є досить істотним джерелом викидів парникових газів, що спричиняють кліматичні зміни. За таких умов доцільним є використання для виробництва тваринницької продукції таких видів тварин, що є найбільш адаптованими до підвищених температур повітря. Такою галуззю є козівництво, яке характеризується високою адаптаційною здатністю до різних кліматичних умов завдяки поведінковим, генетичним, фізіологічним і морфологічним механізмам, які гарантують теплорегуляцію їхнього організму. Тепловий стрес у кіз виникає за температури навколишнього середовища вище 38°C, що значно перевищує поріг виникнення теплового стресу в інших видів сільськогосподарських тварин. Тепловий стрес негативно впливає на імунну та ендокринну системи кіз, ріст і розвиток, репродуктивну здатність як самиць, так і самців, молочну, м'ясну і кашемірову продуктивність. Пом'якшити дію теплового стресу на тварин можна за рахунок оптимізації годівлі та умов утримання, а також через використання порід і популяцій кіз, які визначаються високою термотолерантністю. В Україні питання термотолерантності сільськогосподарських тварин раніше не вивчалось, оскільки воно було неактуальним у нашій кліматичній зоні. Нині в світі проводяться дослідження на фізіологічному, поведінковому і генетичному рівнях щодо виявлення порід і популяцій кіз, які характеризуються високою акліматизаційною здатністю і є термотолерантними. Виявлені гени, які можуть слугувати генетичними маркерами толерантності кіз до теплового стресу, однак це питання потребує додаткових досліджень і підтверджень у різних популяціях кіз.

Ключові слова: *кози, тепловий стрес, реакція організму, ріст і розвиток, репродуктивна здатність, продуктивність, адаптація, термотолерантність.*

ВСТУП

Нині зміни клімату набули глобально-го значення, вони характеризуються підвищенням температури, зміною режиму опадів, зменшенням доступності води і зростання екстремальних погодних явищ (посухи, повені тощо). Попри те, що у багатьох регіонах світу спостерігається тенденція до збільшення кількості опадів, це зростання є недостатнім на тлі постійного посилення температури. Із кожним роком вплив кліматичних чинників на сільськогосподарських тварин стає дедалі відчутнішим, за стрімких змін умов навколишнього

середовища живим організмам стає дедалі важче до них пристосуватися. Тварини та рослини не встигають адаптуватися до нових умов життя, а на територіях, які раніше були населені одними видами, починається експансія інших. Ці зміни необхідно враховувати під час планування господарської діяльності [1].

Тваринництво, як і інші сектори економіки, зазнає негативного впливу змін клімату. Оскільки рослини є основою кормової бази, розвиток тваринництва тісно пов'язаний зі станом рослинництва. Зниження біорізноманіття рослин призводить до збіднення пасовищ, через неврожай і

посухи зростає вартість кормів, зокрема фуражного зерна, силосу та сінажу. Вирощування кормових культур стає дедалі витратнішим з економічної точки зору, що, своєю чергою, знижує рентабельність тваринницької галузі [1; 2].

Кліматичні зміни негативно впливають на сільське господарство загалом та безпосередньо на самих тварин. Упродовж тривалого часу тварини існували в стабільних кліматичних умовах, тому здатність їх організму до швидкої, адекватної та ефективної адаптації до різких змін є обмеженою. У майбутньому перевагу матимуть ті види, а також породи і популяції, які спроможні ефективно пристосовуватись до нових умов середовища. Тому доцільно звернути увагу на менш поширені, але краще адаптовані до змін клімату види тварин, які є менш вибагливими до кормів і демонструють вищу стійкість до несприятливих умов.

Види сільськогосподарських тварин, які формують традиційні галузі тваринництва, досить чутливі до кліматичних змін й водночас самі є джерелом парникових викидів, спричиняючи ці зміни. Найбільшим джерелом парникових газів у тваринництві є продукти кишкової ферментації великої рогатої худоби. Загальновідомо, що скотарство є трудомісткою і складною галуззю. Порівняно із великою рогатою худобою кози мають метаболічні, біологічні, економічні та інші переваги — це рання статевая зрілість, відносно короткий період вагітності, короткий генераційний інтервал та багатоплідність. Кози характеризуються кращою адаптаційною здатністю і відтворюються навіть у найсуворіших кліматичних умовах. Вони мають нижчу чутливість до теплового стресу за рахунок високого рівня потовиділення і здатності зберігати воду, не залежать від специфічних кормів. Кози не потребують спеціальних укриттів і можуть виживати в будь-якому місці за мінімального захисту від несприятливих погодних умов. Водночас ці тварини чинять менший вплив на навколишнє природне середовище, що робить їх використання досить перспективним [3; 4].

Широке географічне поширення кіз пояснюється різноманітними фізіологічними, поведінковими та морфологічними механізмами адаптації, які дають змогу їм виживати за різних умов. Кози можуть ефективно використовувати різноманітні корми, зокрема гіллячковий корм та дикорослі рослини, виживати та підтримувати високий рівень продуктивності, споживаючи відносно бідний на поживні речовини корм [4].

Метою роботи є узагальнення опублікованих даних щодо впливу теплового стресу на організм кіз, їх ріст, розвиток, продуктивність і репродуктивну здатність, а також пошук шляхів адаптації цих тварин до цього стресу.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В Україні дослідження щодо впливу кліматичних змін на кіз практично не проводились, серед останніх можна зазначити С.В. Чумак, В.О. Чумак, А.В. Горчанок [5], однак за кордоном у країнах зі спекотним кліматом ці дослідження представлені досить широко. Слід відмітити численні дослідження таких індійських вчених, як V. Sejian [6–15], M. Bagath [7–15], R. Bhatta [6; 7; 10; 12–15] і G. Krishnan [8; 10; 14]; також значними є здобутки науковців із Австралії [9; 10], Бразилії [10; 17; 18], Мексики [19], Китаю [3], африканських країн [20–23].

Кози, як і всі ссавці — це гомойотермні (теплокровні) тварини, тобто їх організм підтримує сталу температуру тіла незалежно від температури навколишнього середовища за допомогою фізіологічних, поведінкових та метаболічних механізмів [17]. Ці механізми дають змогу тваринам досягати «теплового комфорту» чи так званого теплового нейтралітету за мінімальних витрат енергії для підтримання температурного балансу і забезпечують їхню здатність до розмноження та вироблення продукції. Однак, коли «теплового комфорту» досягти не вдається, під дією температури навколишнього середовища виникає тепловий стрес, за якого погіршується ефек-

тивність росту, продуктивність і відтворення тварин, знижується конверсія корму і резистентність організму до паразитів, хвороботворних бактерій та вірусів. Тепловий стрес може спричиняти гіпертермію і навіть стати причиною загибелі тварин, що, безперечно, призводить до економічних втрат [19].

Крім того, тепловий стрес зумовлює підвищення рівня гормонів стресу, як-от катехоламіни та глюкокортикоїди, які впливають на функцію кишківника і його мікробний склад у жуйних тварин. Це зумовлює пошкодження тканин і подразнення кишківника, підвищує проникність у кровотік токсинів різноманітних бактерій: сальмонели, кишкової палички, кампілобактеру та ін. [24].

Кози починають відчувати тепловий стрес за температури 38°C і вище та за температурно-вологісного індексу 75 і вище. За цих умов для підтримання постійної температури тіла активуються механізми, що включають зміни поведінки, фізіологічні та біохімічні реакції [6]. Адаптаційний процес потребує значних енергетичних витрат, впливає на гомеостаз тварин, їхній ріст, розвиток, репродуктивну здатність і рівень продуктивності, оскільки енергія перенаправляється на адаптацію. Водночас адаптаційна здатність кіз до кліматичних змін і теплового стресу досить висока порівняно із іншими видами сільськогосподарських тварин, що визначає унікальність і надзвичайну актуальність цього виду.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріалом для статті став порівняльний аналіз теоретичних напрацювань та емпіричних досліджень зарубіжних та вітчизняних авторів у сфері впливу кліматичних змін на галузь тваринництва, зокрема на козівництво.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Під дією теплового стресу у центральній нервовій системі тварини запускається процес терморегуляції, який включає такі

компенсаторні механізми: периферичну вазодилатацію (розширення просвіту кровоносних судин), збільшення частоти дихання і споживання води, зменшення споживання корму. Ці механізми допомагають тварині розсіювати тепло за допомогою механізмів теплопровідності та випромінювання. Ефективність розсіювання тепла водночас залежить від активності потових залоз.

Вплив теплового стресу на гомеостаз кіз. Тепловий стрес пригнічує імунологічні реакції кіз, роблячи тварин більш уразливими до захворювань. Деякі дослідження навіть вказують на неефективність імунітету кіз за таких умов. Зниження секреції імуноглобулінів призводить до порушення адаптивної функції імунної системи, що збільшує ймовірність зараження паразитами [7–9]. I. Sophia et al. [7] виявили, що підвищення температури навколишнього середовища зумовлює зниження продукції лімфоцитів, а також їх фагоцитарної функції у кіз. Також тепловий стрес пригнічує вироблення антитіл, зокрема IgM, IgG.

Вплив збільшення температури навколишнього середовища проявляється значними змінами в гормональному профілі жуйних унаслідок процесу адаптації та акліматизації, а також змін у роботі ендокринної системи, переважно щитоподібної та надниркових залоз [17]. Реакція на стрес і його регулювання відбувається через гіпоталамо-гіпофізарно-надниркову систему за допомогою кортикотропін-рилізінг-гормону, адренкортикотропного гормону і гормону надниркових залоз. Кортизол — це гормон, який синтезується корою надниркових залоз і вважається одним із найважливіших гормонів, що забезпечують реакцію на стрес. Він відповідає за глікоконезис і сприяє розщепленню та вивільненню глюкози, амінокислот і жирів у печінці, м'язів і жировій тканині. Рівень кортизолу може коливатись щоденно залежно від пори року, фотоперіоду, складу раціону, виду стресу та його сили. Під час теплового стресу кортизол зумовлює розщеплення білків до амінокислот і регулює

імунну відповідь, репродукцію, метаболізм і поведінку тварин [4; 16].

Підвищення температури навколишнього середовища може мати численні фізіологічні наслідки для організму: порушення ендокринного балансу і активності ферментів, дисбаланс електролітів, виникнення оксидативного стресу та негативні зміни у репродуктивній системі. Такі фізіологічні показники, як частота дихання, серцебиття та температура тіла, швидко змінюються під впливом теплового стресу, відображаючи ступінь комфорту чи дискомфорту тварини. За тривалого впливу теплового стресу у кіз активуються специфічні фізіологічні механізми, які допомагають адаптуватися до несприятливих умов. Ці механізми вважають надійними показниками добробуту тварин незалежно від породи [10].

Частота дихання, частота серцевих скорочень та температура тіла часто використовуються як індикатори фізіологічної адаптації до теплового стресу у дрібних жуйних тварин. Основними фізіологічними реакціями на тепловий стрес у кіз є підвищення ректальної температури, частоти дихання, серцевих скорочень і потовиділення. Між температурно-вологісним індексом та фізіологічними показниками тварин є пряма залежність, а складність і спектр фізіологічних змін, викликаних тепловим стресом, може відрізнятися залежно від виду та породи тварин, їх індивідуальних особливостей та гормонального стану [5].

Частота дихання є ефективним показником кількісної оцінки теплового навантаження і теплового стресу кіз, яка корелює з випаровувальними механізмами охолодження [10]. У термонеутральних умовах частота дихання кіз становить 15–30 вдихів/хв. За слабого теплового стресу цей показник збільшується до 40–60, помірного — 60–80, сильного — 80–120, а за екстремального теплового стресу частота дихання перевищує 150 вдихів/хв [11].

Температура тіла кіз становить близько 39°C. Для моніторингу стану тварин застосовують зазвичай ректальну температуру.

Під час теплового стресу підвищення ректальної температури є нормальною адаптаційною реакцією, що допомагає відводити надлишкове тепло від центру тіла до периферії. Однак навіть незначне перевищення температури тіла (на 1°C і менше) може негативно впливати на добробут і продуктивність тварини [25]. Під впливом теплового стресу було зафіксовано значне підвищення ректальної температури у кіз порід Osmanabadi, Malabari, Salem Black [20].

Частота серцевих скорочень за хвилину у кіз у стані спокою становить 60–80 ударів/хв, однак під впливом теплового стресу може зростати до 91 ударів/хв, що пояснюється посиленою дихальною та м'язовою активністю, а також зниженням судинного опору на периферії. Збільшення частоти серцевих скорочень сприяє інтенсивнішому кровотоку для перенесення тепла від центру до периферії, забезпечуючи ефективну терморегуляцію. За рахунок підвищення частоти серцевих скорочень тіло тварин передає тепло у навколишнє середовище, забезпечуючи комфортні умови для тварини [25]. Отже, частота серцевих скорочень є ще одним важливим показником добробуту кіз за впливу теплового стресу.

Споживання корму та води за теплового стресу. Тепловий стрес безпосередньо впливає на харчовий центр гіпоталамуса і запускає гормональну реакцію, яка знижує швидкість метаболізму. Тварини у стані теплового стресу, щоб мінімізувати вироблення метаболічного тепла, споживають менше корму. Водночас тепловий стрес призводить до зростання потреб в обслуговуванні тварин на 30%. У тварин за теплового стресу спостерігається істотне зниження споживання корму (сухої речовини на 30%), живої маси та її приростів. Зменшення живої маси пов'язують зі збільшенням використання енергії для тепловіддачі через респіраторне випаровування. За теплового стресу у кіз спостерігали випаровування втричі більшої кількості води порівняно з контрольною групою [26].

Життєво важливим елементом для всіх живих організмів є вода. Потреба у воді регулюється низкою чинників — спожив-

ванням сухої речовини, температурою навколишнього середовища та втратою води через випаровування тіла, виділення сечі, калу та виробництво молока. Слід зазначити, що кози демонструють виняткову стійкість до умов нестачі води і зазвичай більш ефективно зберігають воду в організмі, ніж вівці. Деякі породи кіз, як-от Black Bedouin і Bargher, можуть вижити за напування лише один раз на чотири дні. За умови дефіциту води пустельні породи і популяції кіз напувають лише кожні три–шість днів [27].

Ріст і розвиток кіз за підвищених температур. Шкідливий вплив підвищених температур навколишнього середовища на ембріон найбільше проявляється на ранніх стадіях розвитку. Низька секреція прогестерону обмежує функцію ендометрію та розвиток ембріона на стадії бластоцисти, після імплантації (у ранньому органогенезі) і на стадії плоду, що може призвести до різних патологій і ранньої ембріональної смертності [28].

Хоча кози спроможні перетворювати низькоякісний корм у продукцію, тривалий тепловий стрес негативно позначається на їх рості, оскільки тварини знижують споживання корму, зменшується його перетравність та засвоюваність. P. Pragna et al. [29] виявили за теплового стресу зниження темпів росту овець порід Osmanabadi, Malabari та Salem Black на 11%, 8 та 6% відповідно. Повідомляється, що козенята, народжені в прохолодніший період, мали вищу живу масу за народження і швидше досягали живої маси, необхідної для відлучення, порівняно з козенятами, народженими у спекотний сезон. Це пояснюється компенсаторною фазою росту.

Вплив теплового стресу на репродуктивну здатність кіз. Підвищена температура навколишнього середовища негативно впливає на тканини та органи репродуктивної системи тварин незалежно від статі. Тепловий стрес пригнічує виділення гонадотропін-рилізінг-гормону в гіпоталамусі, фолікулолестимулювального та лютеїнізуючого гормонів. Активация гіпоталамо-гіпофізарно-наднирничкової системи у

самок призводить до зменшення екскреції гонадотропінів і продукції естрогенів, що знижує фертильність. У самок скорочується тривалість та інтенсивність тички, спостерігається ановуляторний цикл, знижується результативність запліднення, зменшується діаметр доміантного фолікула через нижчий рівень естрадіолу, а також загальні та внутрішньофолікулярні рівні інсуліноподібного чинника росту I [4; 30]. Під час досліджень впливу кліматичних умов на репродуктивні якості кіз виявлено, що кількість і якість ембріонів, зібраних від 56 суперовульованих бурських кіз, була вищою в сезон дощів (прохолодніший сезон) порівняно зі спекотним сезоном [18].

У самців за теплового стресу знижується лібідо і рівень тестостерону, зменшується сперматогенез і об'єм еякуляту, погіршується якість сперми, рухливість сперматозоїдів та зростає кількість сперматозоїдів з аномаліями [20; 30]. Підвищена температура навколишнього середовища (понад 33°C) спричиняє збільшення температури тіла, що може призвести до дегенерації сім'яників. Окрім того, встановлено кореляцію між температурою навколишнього середовища та рН сперми. Показником адаптації до спеки вважають те, що цапи порід, які адаптовані до посушливих і напівпосушливих регіонів, мають роздвоєну мошонку [30].

У популяціях кіз, яких утримують у субтропічному кліматі, виявлено від'ємну кореляцію між заплідненістю, температурою навколишнього середовища та тривалістю світлового дня [31], що підтверджує вплив температури повітря на репродуктивну здатність тварин.

Тепловий стрес і продуктивність кіз. Хоча кози добре адаптовані до жаркого клімату, їхня продуктивність (молочна, м'ясна, вовнова/кашемірова) та імунна відповідь організму знижуються через адаптаційні реакції на несприятливі умови, оскільки енергія, отримана з кормом, використовується здебільшого для підтримання життєдіяльності тварин. Зокрема, зниження швидкості росту, надою та приросту живої маси становить 12%, 3–10 та 4% відповідно [29].

За теплового стресу погіршуються як кількісні (надій), так і якісні (вміст жиру, білка, лактози та сухої речовини) показники молока кіз. Реакцією на тепловий стрес у кіз зааненської породи у Дніпропетровській обл. було зниження масової частки жиру в молоці на 29%. За концентрацією білка та лактози в молоці змін не виявлено, однак спостерігали зменшення співвідношення жир/білок на 27% та сухої речовини на 9% [5].

Тепловий стрес спричиняє зневоднення тварин, що негативно впливає на якість м'яса, фізичні та органолептичні характеристики туші кіз. Таке м'ясо характеризується високим рівнем рН та низьким рівнем глікогену, змінюється його колір, текстура та вологість, погіршилась м'якість і соковитість [21].

М. Rana et al. встановили [21], що за теплового стресу тварин якість м'яса знижується, оскільки викид адреналіну під час стресу призводить до розширення кровоносних судин на периферії та гідролізу м'язового глікогену. Тривале витримування тварин перед забоєм в умовах підвищеної температури навколишнього середовища може спричинити підвищення рівня рН і потемніння кольору м'яса. Якщо тварина зазнає гіпертермії перед забоєм, підвищена температура і анаеробний метаболізм призводять до більш раннього та інтенсивного заляккання м'яса. У зазначеному дослідженні кози, забиті за температури навколишнього середовища приблизно 35°C (перша група), мали певні відмінності за якістю м'яса порівняно з тими, яких було забито за температури 21°C (друга група). У першій групі спостерігали вищі значення рН м'яса – 5,78 проти 5,65 у другій групі. М'ясо тварин першої групи вирізнялось за кольором і було менш соковитим. Це доводить вплив температури повітря на якісні показники м'яса кіз.

Виявлено, що за температури повітря 27°C та відносної вологості 88% кози відчують тепловий стрес, що впливає на стан туші кіз і призводить до збільшення втрат під час обробки туш. У субпродуктах молодяку кіз, які зазнали теплового стресу,

порівняно з козами, які не зазнали теплового стресу, була вища маса крові (437 і 173 г відповідно), легень та трахеї (573 і 370 г), серця (50 і 32 г), селезінки (43 і 20 г) і нирок (43 і 20 г) [22].

Підвищення рівня рН м'яса може позначитись на його безпечності. Психрофільні бактерії (наприклад, *Acinetobacter* і *Alteromonas putrefaciens*) спричиняють псування продукту і стримуються оптимальним рівнем рН м'яса (5,6), однак ці бактерії швидко розмножуються у м'ясі з високим рівнем рН. Присутність кишкових бактерій у м'язах і печінці не лише погіршує м'ясопродуктивність тварин, а й може призвести до захворювань людей, котрі споживатимуть це м'ясо і субпродукти [24].

На кількість і якість козячої вовни або кашеміру впливають порода, вік, годівля, умови утримання та навколишнього середовища. Австралійські дослідники з'ясували, що дикі кози зазнають сезонних змін шерсті (линьки) відповідно до умов навколишнього середовища, і ріст їх шерсті залежить від біологічних циклів тварин. Зміна тривалості світлового дня стимулює швидкість росту, довжину та діаметр, а також вихід кашеміру в кіз, оскільки від тривалості фотоперіоду залежить виділення мелатоніну в тварин і, як наслідок, ріст шерсті і дозрівання волосяних фолікулів. Шишкоподібна залоза обмежує виділення мелатоніну вдень та виробляє значну кількість мелатоніну вночі. Результати експериментів показують, що скорочення періодів освітлення призводить до підвищення рівня вироблення мелатоніну і стимулює ріст кашеміру [32].

Вочевидь, за теплового стресу продуктивність кіз знижується, щоб адаптуватися до несприятливих умов, однак це негативно позначиться на економічній ефективності виробництва продукції козівництва.

Адаптація кіз до кліматичних змін і теплового стресу. Поведінкові реакції діють на теплообмін між організмом і навколишнім середовищем, зменшуючи поглинання тепла і збільшуючи тепловіддачу шляхом конвекції. У кіз під впливом теплового стресу спостерігаються такі поведінкові

реакції: зниження рухової активності (рух мінімізований), скупчення в затінених місцях, надмірне слиновиділення або носові виділення, прискорене дихання з відкритим ротом, зменшення споживання їжі та збільшення споживання води. В окремих випадках за теплового стресу у кіз може спостерігатися порушення координації і прискорене серцебиття. Тварини, що мешкають у пустелях, зазвичай активні вночі, що допомагає пом'якшити дію підвищених температур. За відсутності тіні тварини змінюють положення відносно сонця, щоб мінімізувати площу поверхні, доступну для теплообміну. У кіз зменшується виділення сечі та калу. Зниження частоти сечовипускання може бути пов'язано з посиленням процесів дихання та охолодження шкіри, що потенційно може призвести до значного зневоднення і подальшого зменшення частоти сечовипускання, а також — дефекації може слугувати адаптаційним механізмом для утримання води в організмі [12].

Дослідження S. Shilja et al. [12] показали, що кози, які знаходились на спеці впродовж 4–8 год на день протягом 18 днів, демонстрували збільшення часу стояння (445 проти 390 хв) і зменшення часу лежання (50 проти 90 хв), на відміну від кіз у контрольних групах.

Оскільки відомі адаптивні механізми під час дії підвищених температур (температура тіла, стан волосяного покриву, положення в стані спокою, поведінкові реакції), тому перспективним є пошук та підтвердження потенційних індикаторів теплового стресу у кіз. Першочергово необхідно створити надійну і валідну емпіричну базу [13], однак, очевидно, що місцеві популяції тварин краще пристосовані до протистояння кліматичним викликам, ніж імпортовані або екзотичні.

Австралійські вчені J. Aleena et al. [11] досліджували стійкість до теплового стресу кіз трьох місцевих порід — Osmanabadi, Malabari і Salem Black на фізіологічному, поведінковому і молекулярному рівнях. Було доведено, що підвищеною адаптацією до теплового стресу характеризувались кози Salem Black. Також кози Salem Black

демонстрували високу продуктивність у тестовому середовищі, відмінному від їхнього природного ареалу проживання.

Нині під час створення порід важливо одним із пріоритетів обирати термотолерантність тварин, тобто стійкість та адаптивність тварин до змін клімату, зокрема підвищених температур навколишнього середовища. Оскільки генетичні основи термотолерантності є досить складним механізмом, тому цій ознаці приділялося мало уваги, однак нині вона є предметом дослідження вчених у всьому світі [33].

J. Aleena et al. [11] і A.P. Madhusoodan et al. [8] виявили відмінності в прояві реакції на тепловий стрес у кіз різних порід та популяцій, які ґрунтуються на молекулярних реакціях, а саме на змінах білка теплового шоку 70 (HSP70), TLR2 і TLR8. Це дослідження дає змогу визначати та вимірювати біомаркери, пов'язані з тепловим стресом, що може допомогти досягти довгострокових генетичних цілей — виведення порід, пристосованих до умов певних агроєкологічних зон.

A. Yakubu et al. [23] вивчали однонуклеотидні варіанти гена DRB класу II MHC і аналізували їх зв'язок із термофізіологічними особливостями трьох порід кіз у Нігерії — West African Dwarf, Red Sokoto і Sahel. Було ідентифіковано 14 алелів, з яких 7 мали сильний зв'язок із толерантністю до спеки. Також відзначають кращу термоадаптацію до спекотного і вологого тропічного клімату Нігерії кіз порід Sahel і Red Sokoto порівняно із козами породи West African Dwarf.

Z.A. Khan et al. [34] спостерігали генетичні варіації супероксиддисмутази-3 за теплового стресу та їх зв'язок із термотолерантністю у кіз порід Black Bengal, Ganjam і Raighar. Дослідники виявили три однонуклеотидні поліморфізми (SNP) в гені SOD3, які мали істотний вплив на фізіологічні чинники та специфічні біохімічні показники плазми крові, зокрема на загальний білок, альбумін, білірубін, креатинін, глюкоза та тригліцериди. Вчені вважають, що кореляція між різними генами послідовності SOD-3 та характеристи-

ками, сполученими з відповіддю на тепловий стрес, можна розглядати як ключовий ДНК-маркер під час селекції за ознаками, пов'язаними із толерантністю до підвищених температур.

Встановлено, що разом із SNP-маркерами певні гени можуть слугувати генетичними маркерами толерантності кіз до теплового стресу через їхні профілі експресії мРНК [12]. Вивчаючи здатність кіз породи Osmanabadi пристосовуватися до теплового та харчового (аліментарного) стресу впродовж літнього сезону, було виявлено, що експресія гена HSP70 надниркових залоз може слугувати перспективним біомаркером у цьому контексті. Рівень мРНК HSP70 був підвищеним у надниркових залозах кіз, які зазнали як теплового, так і аліментарного стресу, порівняно з козами, що зазнали лише теплового або аліментарного стресу. На думку дослідників, посилене виготовлення HSP70 є результатом гіперактивності кори надниркових залоз, яка відповідає за вироблення кортизолу, що є ключовим показником стресу. Також S.P. Angel et al. [14] визначили інсуліноподібний фактор росту-1, лептин і рецептор лептину як оптимальні біомаркери для оцінки потенціалу росту малабарських кіз в умовах теплового стресу. Експресія мРНК усіх вищеописаних генів різко знижувалася у кіз, які зазнали теплового стресу.

Дослідження на козах Malabari показало, що інтерлейкін 18 (IL-18), фактор некрозу пухлин- α (TNF- α), інтерферон- β (IFN- β) та IFN- γ є надійними імунологічними маркерами для оцінки змін імунної відповіді. Рівні експресії мРНК усіх трьох генів були помітно знижені у кіз, які зазнавали теплового стресу [15]. За теплового стресу A.P. Madhusoodan et al. [8] спостері-

гали значне зниження експресії мРНК печінкових IL-2, IL-6, IL-18, TNF- α та IFN- β у кіз породи Salem Black, а S.S. Chauhan et al. [9] виявили підвищену експресію гена TLR1 у кіз порід Osmanabadi і Canna у різних тканинах, зокрема у матці, шкірі, лімфатичних вузлах, периферичних мононуклеарних клітинах крові та легенях. Тобто ці гени можуть слугувати індикаторами теплового стресу кіз.

ВИСНОВКИ

Тваринництво водночас спричиняє кліматичні зміни через викиди парникових газів та страждає від них. За підвищеної температури повітря сільськогосподарські тварини, зокрема кози, перебувають у стані теплового стресу, який негативно впливає на них, гальмуючи імунну систему (тварини стають більш сприйнятливими до захворювань), ендокринну систему (порушення гормонального балансу організму), змінюються фізіологічні й поведінкові реакції тварин, пригнічується їх ріст і розвиток, знижується рівень продуктивності, страждає репродуктивна функція.

Для пом'якшення впливу кліматичних змін і теплового стресу доцільно проводити моніторинг поведінки тварин та за виявлення ознак теплового стресу вживати відповідних заходів, регулюючи умови утримання, напування та годівлі. З іншого боку перспективним є виявлення існуючих, а також створення нових порід і популяцій тварин, які стійкі до теплового стресу, тобто є термотолерантними.

Перспектива подальшого дослідження у цьому напрямі полягає у вивченні впливу підвищеної температури повітря на фізіологічні, репродуктивні та продуктивні показники кіз в Україні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Farooq, A., Farooq, N., Akbar, H., Hassan, Z. U., & Gheewala, S. H. (2023). A Critical Review of Climate Change Impact at a Global Scale on Cereal Crop Production. *Agronomy*, 13, 162. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13010162>.
2. Modi, P. A., Fuka, D. R., & Easton, Z. M. (2021). Impacts of climate change on terrestrial hydrological components and crop water use in the Chesapeake Bay watershed. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100830>.
3. Danso, F., Iddrisu, L., Lungu, S. E., Zhou, G., & Ju, X. (2024). Effects of Heat Stress on Goat Production and Mitigating Strategies: A Review. *Animals*, 14(12), 1793. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani14121793>.
4. Sudarić Bogojević, M., Đuričić, D., Fruk, S., Žura Žaja, I., Kunštek, S., Kovačić, M., & Samardžija, M.

- (2025). Impact of global warming on the productive and reproductive efficiency of goats. *Veterinarska stanica*, 56(4), 485–492. DOI: <https://doi.org/10.46419/vs.56.4.7>.
5. Chumak, S. V., Chumak, V. O., & Horchanok, A. V. (2021). Changes in the goat's milk composition due to heat stress at the farm of the Ukrainian steppe zone. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 9(2), 74–81. DOI: <https://doi.org/10.32819/2021.92012>.
 6. Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., & Lacetera N. (2018). Adaptation of animals to heat stress. *Animal*, 12(2), s431–s444. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731118001945>.
 7. Sophia, I., Sejian, V., Bagath, M., & Bhatta, R. (2016). Quantitative expression of hepatic toll-like receptors 1–10 mRNA in Osmanabadi goats during different climatic stresses. *Small Ruminant Research*, 141, 11–16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.06.005>.
 8. Madhusoodan, A. P., Sejian, V., Afsal, A., Bagath, M., Krishnan, G., Savitha, S. T., ... Bhatta, R. (2021). Differential Expression Patterns of Candidate Genes Pertaining to Productive and Immune Functions in Hepatic Tissue of Heat-Stressed Salem Black Goats. *Biological Rhythm Research*, 52(6), 809–820. DOI: <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1607213>.
 9. Chauhan, S. S., Rashamol, V. P., Bagath, M., Sejian, V., & Dunshea, F. R. (2021). Impacts of heat stress on immune responses and oxidative stress in farm animals and nutritional strategies for amelioration. *International Journal of Biometeorology*, 65, 1231–1244. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02083-3>.
 10. Sejian, V., Silpa, M. V., ReshmaNair, M. R., Devaraj, C., Krishnan, G., Bagath, M., ... Bhatta, R. (2021). Heat Stress and Goat Welfare: Adaptation and Production Considerations. *Animals*, 11(4), 1021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11041021>.
 11. Aleena, J., Sejian, V., & Bagath, M. (2018). Resilience of three indigenous goat breeds to heat stress based on phenotypic traits and PBMC HSP70 expression. *International Journal of Biometeorology*, 62, 1995–2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1604-5>.
 12. Shilja, S., Sejian, V., Bagath, M., Mech, A., David, C. G., Kurien, E. K., ... Bhatta, R. (2016). Adaptive Capability as Indicated by Behavioral and Physiological Responses, Plasma HSP70 Level, and PBMC HSP70 mRNA Expression in Osmanabadi Goats Subjected to Combined (Heat and Nutritional) Stressors. *International Journal of Biometeorology*, 60, 1311–1323. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1124-5>.
 13. Afsal, A., Sejian, V., Bagath, M., Devaraj, C., & Bhatta, R. (2018). Heat Stress and Livestock Adaptation: Neuro-Endocrine Regulation. *International Journal of Veterinary and Animal Medicine*, 1(2), 108. DOI: <https://doi.org/10.31021/ijvam.20181108>.
 14. Angel, S. P., Bagath, M., Sejian, V., Krishnan, G., & Bhatta, R. (2018). Expression Patterns of Candidate Genes Reflecting the Growth Performance of Goats Subjected to Heat Stress. *Molecular Biology Reports*, 45, 2847–2856. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11033-018-4440-0>.
 15. Rashamol, V. P., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Beena, V., & Bhatta, R. (2019). Effect of heat stress on the quantitative expression patterns of different cytokine genes in Malabari goats. *International Journal of Biometeorology*, 63, 1005–1013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01713-1>.
 16. Nair, M. R. R., Sejian, V., Silpa, M. V., Fonsêca, V. F. C., de Melo Costa, C. C., Devaraj, C., ... Bhatta, R. (2021). Goat as the ideal climate-resilient animal model in tropical environment: revisiting advantages over other livestock species. *International Journal of Biometeorology*, 65, 2229–2240. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02179-w>.
 17. Ribeiro, M. N., Ribeiro, N. L., Bozzi, R., & Costa, R. G. (2018). Physiological and biochemical blood variables of goats subjected to heat stress — a review. *Journal of Applied Animal Research*, 46, 1036–1041. DOI: <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1456439>.
 18. Da Silva, E. M. N., De Souza, B. B., De Sousa, O. B., Silva, G. D. A., & De Freitas, M. M. S. (2010). Avaliação Da Adaptabilidade de Caprinos Ao Semiárido Através de Parâmetros Fisiológicos e Estruturas Do Tegumento. *Revista Caatinga*, 23, 142–148.
 19. Macías-Cruz, U., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Meza-Herrera, C. A., Aréchiga, C. F., & Avendaño-Reyes, L. (2018). Thermoregulatory response to outdoor heat stress of hair sheep females at different physiological state. *International Journal of Biometeorology*, 62, 2151–2160. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1615-2>.
 20. Adjassin, J. S., Assani, A. S., & Bani, A. A. (2022). Impact of heat stress on reproductive performances in dairy goats under tropical subhumid environment. *Heliyon*, 8, e08971. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08971>.
 21. Rana, M., Hashem, M., Akhter, S., Habibullah, M., Islam, M. H., & Biswas, R. C. (2014). Effect of Heat Stress on Carcass and Meat Quality of Indigenous Sheep of Bangladesh. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 43(2), 147–153. DOI: <https://doi.org/10.3329/bjas.v43i2.20717>.
 22. Hashem, M. A., Hossain, M. M., Rana, M. S., Hossain, M. M., Islam, M. S., & Saha, N. G. (2013). Effect of Heat Stress on Blood Parameter, Carcass and Meat Quality of Black Bengal Goat. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 42(1), 57–61. DOI: <https://doi.org/10.3329/bjas.v42i1.15783>.
 23. Yakubu, A., Salako, A. E., De Donato, M., Peters, S. O., Takeet, M. I., Wheto, M., ... Imumorin, I. G. (2017). Association of SNP Variants of MHC Class II DRB Gene with Thermo-Physiological Traits in Tropical Goats. *Tropical Animal Health and Production*, 49, 323–336. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1196-1>.
 24. Lian, P., Braber, S., Garssen, J., Wichers, H. J., Folkerts, G., Fink-Gremmels, J., & Varasteh, S. (2020). Beyond Heat Stress: Intestinal Integrity Disruption and Mechanism-Based Intervention Strategies. *Nutrients*, 12(3), 734. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12030734>.
 25. Levchenko, V. I., Vlizlo, V. V., Kondrakhin, I. P. et al. (2017). *Clinical diagnosis of animal diseases* (V. I. Levchenko & V. M. Bezukh, Eds.). Bila Tserkva.

26. Ocak, S., Darcan, N., Çankaya, S., & Inal, T. C. (2009). Physiological and Biochemical Responses in German Fawn Kids Subjected to Cooling Treatments under Mediterranean Climate Conditions. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 33(6), 455–461. DOI: <https://doi.org/10.3906/vet-0708-3>.
27. Ahmed, M. M. M., & El Kheir, I. M. (2004). Thermoregulation and Water Balance as Affected by Water and Food Restrictions in Sudanese Desert Goats Fed Good-Quality and Poor-Quality Diets. *Tropical Animal Health and Production*, 36, 191–204.
28. Wolfenson, D., Roth, Z., & Meidan, R. (2000). Impaired reproduction in heat stressed cattle: Basic and applied aspects. *Animal Reproduction Science*, 60–61, 535–547. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00102-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00102-0).
29. Pragna, P., Sejjan, V., Bagath, M., Krishnan, G., Archana, P. R., Soren, N. M., ... Bhatta, R. (2018). Comparative assessment of growth performance of three different indigenous goat breeds exposed to summer heat stress. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102, 825–836. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.12892>.
30. Gupta, M., & Mondal, T. (2021). Heat stress and thermoregulatory responses of goats: a review. *Biological Rhythm Research*, 52(3), 407–433. DOI: <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1603692>.
31. El-Sayed, A. I. M., Farghaly, H. A. M., Eid, S. Y., & El-Zaher, H. M. (2018). Effect of Heat Stress on Reproductive and Productive Traits in Baladi and Crossbred Goat Does under Subtropical Conditions. *Journal of Nuclear Technology in Applied Science*, 6(1), 31–45.
32. Wu, Z., Duan, C., Li, Y., Duan, T., Mo, F., & Zhang, W. (2018). Melatonin Implantation during the Non-Growing Period of Cashmere Increases the Cashmere Yield of Female Inner Mongolian Cashmere Goats by Increasing Fiber Length and Density. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 16, e06SC01-01.
33. Carabaño, M. J., Ramón, M., Menéndez-Buxadera, A., Molina, A., & Díaz, C. (2019). Selecting for Heat Tolerance. *Animal Frontiers*, 9(1), 62–68. DOI: <https://doi.org/10.1093/af/vfy033>.
34. Khan, Z. A., Mishra, C., & Dige, M. (2021). Association of Novel Polymorphisms in Caprine SOD3 Gene with Physiological and Biochemical Parameters. *Biological Rhythm Research*, 52(5), 759–773. DOI: <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1603693>.

Стаття надійшла до редакції журналу 28.02.2025

СУЧАСНИЙ СТАН НАЗЕМНОЇ ТЕРІОФАУНИ В АГРОЛАНДШАФТІ ІНГУЛЕЦЬКО-ДНІПРОВСЬКОГО МЕЖИРІЧЧЯ НА ПРИКЛАДІ НПП «КАМ'ЯНСЬКА СІЧ»

І.В. Наконечний¹, С.В. Скорик², Ю.А. Ходосовцева²

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

e-mail: Nakonichniigor777@gmail.com; ORCID: 0000-0002-3797-3725

²Національний природний парк «Кам'янська Січ»

(м. Берислав, Херсонська обл., Україна)

e-mail: Skorikserg@ukr.net; ORCID: 0000-0001-8800-2243

e-mail: Geleverya@i.ua; ORCID: 0000-0003-0626-5061

У статті відображені результати досліджень щодо видової структури та оцінки сучасного стану наземної теріофауни Інгулецько-Дніпровського межиріччя, виконаного на прикладі п'ятирічних облікових матеріалів, зібраних у НПП «Кам'янська Січ» Бериславського р-ну Херсонської обл. Результати узагальнювального аналізу ретро-спективних і сучасних матеріалів, розглянутих на фоні наслідків руйнації Каховського водосховища та чергової зміни умов довкілля, демонструють новітню ситуаційну перебудову фауністичних угруповань, утворених аборигенним зонально-степовим компонентом, нагололюваними мешканцями долини Дніпра і представниками адвентивної групи. Деталізований список видового складу наземної фауни поєднує 47 видів, серед яких переважають представники *Miriformes* (7 родин, 15 родів, 21 вид) і *Cani-formes* (2 родини, 8 родів, 14 видів). Виключно степовими стенотопами є 6 видів 6 родів 5 родин. Наприкінці ХХ ст. правобережно-степове видове ядро ссавців Нижнього Подніпров'я було представлено 7 видами 7 родів 6 родин. Зниклими за останні 70 років впевнено можливо вказати лише два види — це тхір-перев'язка (*V. peregrina*) і ховрах крпчастий (*S. suslicus*). На початок 2025 р. лише невелика частка аборигенних видів степового (5) і наволоводного комплексу (3) зберігають свою присутність, декілька видів відсутні (2–5) і з'явилися 8 видів, нових для цієї території. Деталізація наявної видової структури ссавців свідчить про її істотну відмінність від раніше існуючих угруповань степового комплексу. Сучасний перелік поєднує лише залишки степового видового ядра за присутності значної частки азональних і привнесених адвентивних компонентів (інтродуценти, реакліматизанти, вселенці, мігранти). Новітні зміни видового складу ссавців правобережних степів та суміжної з ним долини Дніпра зумовлені комплексно діючим впливом природно-кліматичних і антропогенних чинників, зокрема млітерного походження.

Ключові слова: ссавці Нижнього Подніпров'я, видова структура теріофауни, степові стенотопи, раритетна теріофауна Сухого Степу.

ВСТУП

Біорізноманіття придніпровських степових рівнин, в унікальному поєднанні з біорізноманіттям долини Нижнього Дніпра, формує своєрідний біотичний комплекс, що містить і зонально-степове ядро видів. Типовою частиною цієї місцевості є територія НПП «Кам'янська Січ», створена Указом Президента України №140/2019 від 11 квітня 2019 р. на площі 12 261,1 га в Бериславському р-ні Херсонської обл. [1].

Парк розташований на правому березі Дніпра і територіально охоплює залишково-степові ландшафти Кам'янської та Милівської балок, змішано-мозаїчні біотопи берегового схилу та частину (400 га) долини Дніпра (нині — це плавні на місці колишньої акваторії Каховського водосховища). Специфіка розташування цієї місцевості на межі біогеографічних регіонів півдня України, поділених долиною Дніпра, визначає її стиковий характер ареалів багатьох представників місцевої біоти [2].

За останні 70 років біотичні комплекси Правобережного Подніпров'я та суміжних територій піддавались потужній антропогенній трансформації і двічі – впливу техногенно-екологічних катаклізмів, пов'язаних із побудовою та руйнацією Каховського вдсх. Вкрай негативні наслідки щодо стану біоти Парку залишила й недавня окупація. Теріофауна, як найбільш показовий компонент будь-якої місцевості, постає одним із найчутливіших та інформативних складових природних екосистем, швидко реагуючи на найменші зміни останніх, тобто слугує довершеним об'єктом біодіагностики в сфері системного фонового моніторингу [3; 4].

Тому, моніторинг локальної структури і стану теріофауни відкриває шлях до розуміння природних процесів, які реалізуються в місцевостях, що зазнали потужних агрогенних, техногенних і мілітерних впливів. Ліквідація їх наслідків вимагає еколого-раціональних підходів щодо розробки і впровадження дієвих природоохоронних заходів, первинним полігоном яких у Нижньому Подніпров'ї й постає територія НПП «Кам'янська Січ».

Відповідно, **метою роботи** є узагальнювальний аналіз видової структури та сучасного стану теріофауни Парку, розглянутий на фоні новітньої зміни умов довкілля.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Перші описи Правобережного Степу Нижнього Дніпра відомі ще з античної літератури [5], проте фахові дослідження місцевої теріофауни були започатковані лише в другій половині XIX ст. О.Д. Нордманом (1846). Йому належать унікальні матеріали щодо фауни плакорних степів Інгулецько-Дніпровського межиріччя до аграрного періоду [6], які мають базисне значення для будь-якого порівняльного аналізу наступних часів. У першій половині XX ст. місцеві угруповання ссавців вивчалися в контексті відображення даних дослідників-теріологів XIX–XX ст., що працювали в Нижньому Придніпров'ї, зокрема М.В. Шарлемань (1920), І.І. Ба-

рабаш-Никифорів (1928), Я.П. Зубко (1940), матеріали яких [7–9] свідчать про стаке існування чисельної та багатой видами степової теріофауни. Детальному розгляду склад фауністичних комплексів Подніпров'я піддається і в сфері зоогеографії [10].

Публікації щодо складу та стану степової фауни досліджуваної території за останні десятиріччя освітлені переважно в дисертаційних роботах, зоологічних оглядах і декількох статтях. Серед них першими слід вказати праці Г.В. Рашевської (2018) [11], присвячені вивченню гризунів зональних ландшафтів Правобережного Степу. Матеріали з екології степових ссавців-землерий надруковані М.А. Коробченко та І.В. Загороднюком (2014) [12], І.В. Наконечним із співавт. (2022) [13]. Дані щодо видового складу дрібних ссавців фрагментарних степових ділянок у складі агроландшафту Білозерського р-ну Херсонської обл. опубліковані І.Р. Мерзлікіним (2019) [14].

Накопичені за останні півтора сторіччя літературні джерела дозволяють порівняльні узагальнення із врахуванням новітніх трансформаційних тенденцій. Однак, опираючись на аналіз переліку фахових публікацій, потрібно вказати на їх порівняно обмежену кількість і парадоксально недостатній рівень вивченості теріофауни Інгулецько-Дніпровського межиріччя, в цілісному масиві агроландшафту якого розташована й територія НПП «Кам'янська Січ».

Територія досліджень. За загальностепового характеру Бузько-Дніпровського Понижзя, місцевості вздовж правого берега Дніпра помітно відрізняються специфікою лесово-карстових геоструктур і розвитком балкової мережі. Пересічні висоти місцевості 65–40 м (найвища точка в межах Парку – 111 м), глибини врізу тальвегів балок сягають до 30–35 м. Річна сума активних температур становить близько 3570°C, досягнувши в 2019–2024 рр. майже 3900°C за зменшення суми опадів до 340 мм. Середньорічна температура за ці роки збільшилася від 9,4°C до 10,5°C, переважно за рахунок високих зимових температур,

на фоні яких відсутнє й утворення снігового покриву, а випаровуваність сягнула 1100 мм/рік і більше [15]. Панування вітрових фронтів із східних і північно-східних напрямків на фоні зимового безсніжжя значно погіршує біокліматичні умови для наземних ссавців. Особливо критичними вони стали для дрібних степових гризунів, еволюційно пристосованих до зимівлі під снігом.

Фонові ґрунти — південні малогумусні пилуваті чорноземи на суглинково-лесовій основі, утворені під типчаково-ковиловою рослинністю. Близьче до Дніпра ґрунтовий покрив частково підданий розмиттю, тераси вкриті зрідженою типчаково-попиновою рослинністю і чагарниками, частково залісенені. Природна степова рослинність в агроландшафті, де оранка становить майже 80% площі, збережена лише в балках та вздовж берегового схилу Дніпра.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вихідні фактичні матеріали щодо складу і чисельності окремих представників теріофауни НПП «Кам'янська Січ», аналітичні узагальнення яких покладені в основу цієї роботи, поєднують авторські обліково-маршрутні дані за період 2020–2024 рр., звітно-облікові записи працівників і служби охорони Парку та літературні дані, ретроспективні та сучасні. Використані також і попередньо зібрані (2018–2019 рр.) опитові дані місцевого населення щодо існуючих тварин, які й були закладені в обґрунтування проєкту створення Національного природного парку «Кам'янська Січ». Частково використані й звітні дані ДП «Великоолександрівське лісомисливське господарство» за період 1994–2021 рр.

Згідно з метою та завданням роботи, передбачали: а) візуальне спостереження за представниками наземної теріофауни в процесі повсякденної роботи охорони та науковців Парку; б) спеціалізовані маршрутні обліки тварин по слідах на снігу (сезони 2020/2021 та 2021/2022 рр.); в) обліки поселень та схованок тварин (нори,

хатки, викиди ґрунту тощо). Для візуального контролю місцевих і мігруючих тварин навесні 2020 р. у вершинах степових балок, поряд із рідкісними водопоями, були обладнані сім стаціонарних спостережних пунктів, які до лютого 2022 р. періодично використовували для проведення візуальних денних обліків тварин і птахів. Там само застосовували й метод нічної відеофіксації тварин із використанням фотопасток Moultrie Game Spy M-880 Gen1. Впродовж 2020–2021 рр., сумарно за 1014 ночей їх роботи було зафіксовано ссавців 16 видів, від вовка і дикого кабана до миші лісової.

Для детального картографування місць візуальної фіксації тварин чи їх схованок опирались на можливості кросплатформеної геоінформаційної системи QGIS ver. 3.28.3 (додаток SAGA GIS 7.8.2). Ландшафти досліджуваної території ідентифікували за Єдиною класифікацією природних і антропогенно змінених ландшафтних комплексів [16].

РЕЗУЛЬТАТИ ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Степові місцевості Правобережжя Нижнього Дніпра здавна відрізнялись малою щільністю населення, що сприяло збереженню природних ландшафтів і біоти посушливого Інгулецько-Дніпровського межиріччя до середини ХХ ст. Зберігався і зональний характер рівнинно-степового ландшафту, слугуючи основною ареною існування степових тварин-стенотопів. Їхнім чітким представником є сліпачок *E. talpinus*, останні правобережні поселення якого зосереджені саме в ділянках неораних степів, що охороняються у межах Парку.

Ключовою подією для екосистем Нижнього Подніпров'я стала ліквідація Велико-го Лугу внаслідок побудови і заповнення навесні 1956 р. Каховського водосховища, яке по суті припинило існування природного біорізноманіття долини Дніпра. Рівнинний характер місцевості в межиріччі Інгульця–Дніпра з достатніми ґрунтовими і кліматичними ресурсами в умовах розвитку штучного зрошення сприяв становленню

новітніх форм землеробства та стрімкому збільшенню його деструктивного впливу на фауністичні комплекси і природне середовище загалом. Закономірно, що найперші втрати в Подніпров'ї понесли вузько-спеціалізовані види степових стенотопів. Останні швидко зникали у міру руйнації природного середовища і трансформації степових біотопів, а на їх місце прийшли більш екологічно пластичні види. Наочним прикладом таких змін, що відбулись вже на межі ХХІ ст., стало зникнення ховраха крапчастого *S. suslicus*, а відповідно й степового тхора *M. evermanni*, основою живлення якого слугували виключно ховрахи. Не менш стрімко відбувається і протилежне явище — проникнення в Нижнє Подніпров'я шакала *C. aureus* із півдня та куниці лісової *M. martes* — з півночі. Відчутну шкоду для степових аборигенів привнесли й інтродуценти, як-от єнот уссурійський *N. procyonoides*, американська норка *N. vison* і певною мірою кабан дикий *S. scrofa*. Саме кабан став важливим чинником негативного впливу на чисельність наземно гніздуючих птахів і багатьох видів степових гризунів.

Згідно з попередніми даними, станом на 2019 р., тобто на час утворення та початкового функціонування НПП «Кам'янська Січ», місцева фауна нараховувала близько 369 видів, серед яких переважали птахи і комахи. Ця цифра неточна і потребує перманентного уточнення, особливо за видовим складом комах, рукокрилих і мігруючих птахів. Першочергова важливість різносезонних уточнень фауни зумовлена знаходженням території Парку в межах магістрального коридору міграції і зимівлі пролітної авіафауни. Наземна теріофауна, за попередніми даними, включала 35–40 видів, перелік яких надалі був дещо розширений за результатами п'ятирічних обліків (2019–2024 рр.). Аналітично узагальнений видовий склад наземної теріофауни Парку наведено в *табл. 1*, яка поєднує попередні вихідні дані (на 2019 р.) та дані останніх обліків, завершених наприкінці 2024 р.

Згідно з наведеними даними (див. *табл. 1*), на території мозаїчного агроландшафту в межах НПП «Кам'янська Січ» наземна теріофауна на початок 2025 р. поєднує 47 видів. Вказаний рівень видового

Таблиця 1. Видовий склад наземної теріофауни за попередніми даними станом на 2019 р. (обліково на 01.01.2025 р.)

№	Ряд, родина, рід та видовий склад представників теріофауни	Характеристика виду для даної території	Статус на 01.01.2025
CANIFORMES – ПСОПОДІБНІ			
Родина Псові <i>Canidae</i>			
1	Вовк <i>Canis lupus</i>	Аборигенний вид, переважно прохідний звір	Незмінний
2	Шакал <i>Canis aureus</i>	Адвентивний вид, з'явився в 2015–2017 рр.	Незмінний
3	Лисиця <i>Vulpes vulpes</i>	Звичайний аборигенний вид, стабільно чисельний	Незмінний
4	Єнот уссурійський <i>Nyctereutes procyonoides</i>	Адвентивний вид, із 60-х років ХХ ст. постійно мешкає, малочисельний	Незмінний
Родина Кунячі <i>Mustelidae</i>			
5	Борсук європейський <i>Meles meles</i>	Аборигенний звичайний, постійно мешкає	Незмінний
6	Видра <i>Lutra lutra</i>	Аборигенний вид долини Дніпра, малочисельний	Незмінний
7	Куниця кам'яна <i>Martes foina</i>	Аборигенний вид, постійно мешкає	Незмінний

Продовження таблиці 1

№	Ряд, родина, рід та видовий склад представників теріофауни	Характеристика виду для даної території	Статус на 01.01.2025
8	Куниця лісова <i>Martes martes</i>	Адвентивний вид, з 2012 р. 7 випадків знаходження	Незмінний
9	Тхір чорний лісовий <i>Mustela putorius</i>	Вселенець із Лісостепу, малочисельний	Незмінний
10	Тхір білий степовий <i>Mustela eversmanni</i>	Абориген, степовий стенотоп, із початку ХХІ ст. украй рідкісний	Вірогідно відсутній
11	Горностаї <i>Mustela erminea</i>	Недавній (1992–1995 рр.) вселенець, досить звичайний	Незмінний
12	Ласка <i>Mustela nivalis</i>	Звичайний аборигенний вид, постійно мешкає	Незмінний
13	Норка європейська <i>Mustela lutreola</i>	Аборигенний вид долини Дніпра, рідкісний	Незмінний
14	Норка візон <i>Neovison vison</i>	Інтродуцент, мешканець долини Дніпра, рідкісний	Незмінний
CERVIFORMES – ОЛЕНЕПОДІБНІ			
Родина Свишеві <i>Suidae</i>			
15	Кабан дикий <i>Sus scrofa</i>	Звичайний аборигенний вид, малочисельний у степах	Незмінний
Родина Оленеві <i>Cervidae</i>			
16	Лось <i>Alces alces</i>	Рідкісні заходи окремих особин (останній у 2017 р.)	Відсутній
17	Козуля <i>Capreolus capreolus</i>	Звичайний, постійно мешкає, стабільно малочисельний	Незмінний
18	Олень європейський <i>Cervus elaphus</i>	Недавній вселенець (2005 р.), досить звичайний у Парку	Незмінний
SORICIFORMES – МІДИЦЕПОДІБНІ			
Родина Їжаківі <i>Erinaceidae</i>			
19	Їжак білочеревий <i>Erinaceus roumanicus</i>	Аборигенний, звичайний, постійно мешкає	Незмінний
Родина Мідицеві <i>Soricidae</i>			
Підродина Білозубки <i>Crocidurinae</i>			
20	Білозубка білочерева <i>Crocidura leucodon</i>	Аборигенний, досить рідкісний вид	Незмінний
21	Білозубка мала <i>Crocidura suaveolens</i>	Аборигенний, звичайний вид, постійно мешкає	Незмінний
Підродина Бурозубки <i>Soricinae</i>			
22	Рясоніжка мала <i>Neomys anomalus</i>	Аборигенний вид долини Дніпра, рідкісний	Незмінний
23	Мідиця звичайна <i>Sorex araneus</i>	Аборигенний, звичайний, постійно мешкає	Незмінний

Продовження таблиці 1

№	Ряд, родина, рід та видовий склад представників теріофауни	Характеристика виду для даної території	Статус на 01.01.2025
24	Мідиця мала <i>Sorex minutus</i>	Аборигенний, досить рідкісний вид долини Дніпра	Незмінний
25	Мідиця середня <i>Sorex caecutiens</i>	Рідкісний вид, відомі декілька знахідок	Невідомий
LEPORIFORMES – ЗАЙЦЕПОДІБНІ			
Родина Зайцеві <i>Leporidae</i>			
26	Заєць сірий русак <i>Lepus europaeus</i>	Аборигенний звичайний вид, постійно мешкає	Незмінний
MURIFORMES – МИШОПОДІБНІ			
Родина Боброві <i>Castoridae</i>			
27	Бобер європейський <i>Castor fiber</i>	Реакліматизант, малочисельний у долині Дніпра	Незмінний
Родина Хом'якові <i>Cricetidae</i>			
28	Хом'як звичайний <i>Cricetus cricetus</i>	Абориген, із 70-х років ХХ ст. малочисельний, рідкісний	Незмінний
29	Хом'ячок сірий <i>Cricetulus migratorius</i>	Рідкісний малочисельний вид степових балок	Незмінний
Підродина Щурові <i>Arvicolinae</i>			
30	Щур водяний <i>Arvicola amphibius</i>	Аборигенний, звичайний, із 2007 р. рідкісний	Незмінний
31	Ондатра болотяна <i>Ondatra zibethicus</i>	Інтродуцент (1963 р.), в останні роки малочисельний	Незмінний
32	Полівка звичайна <i>Microtus arvalis</i>	Абориген, звичайний, постійно мешкає	Незмінний
33	Нориця руда <i>Myodes glareolus</i>	Рідкісний вид штучних лісонасаджень	Незмінний
34	Сліпачок звичайний <i>Ellobius talpinus</i>	Абориген, малочисельний, постійно мешкає	Незмінний
Родина Сліпаківі <i>Spalacidae</i>			
35	Сліпак подільський <i>Spalax zemni</i>	Абориген, звичайний, постійно мешкає	Незмінний
Родина Мишеві <i>Muridae</i>			
36	Пацюк сірий <i>Rattus norvegicus</i>	Вселенець (початок ХХ ст.), звичайний, постійно мешкає	Незмінний
37	Миша польова житник <i>Apodemus agrarius</i>	Малочисельний, досить рідкісний вид долини Дніпра	Незмінний
38	Мишак жовтогорлий <i>Sylvaemus flavicollis</i>	Звичайний, малочисельний, постійно мешкає в лісосмугах	Незмінний
39	Мишак європейський <i>Sylvaemus sylvaticus</i>	З 1975–1978 рр. звичайний вид штучних лісонасаджень	Незмінний

№	Ряд, родина, рід та видовий склад представників теріофауни	Характеристика виду для даної території	Статус на 01.01.2025
40	Мишак уральський <i>Sylvaemus uralensis</i>	Звичайний, малочисельний, постійно мешкає в чагарниках	Незмінний
41	Мишак степовий <i>Sylvaemus witherbyi</i>	Вірогідно аборигенний вид, малочисельний	Незмінний
42	Мишка лучна <i>Micromys minutus</i>	Аборигенний, звичайний, постійно мешкає	Незмінний
43	Миша хатня <i>Mus musculus</i>	Звичайний, постійно мешкає, чисельний	Незмінний
44	Миша курганцева <i>Mus spicilegus</i>	Абориген, звичайний, постійно мешкає в агроландшафті	Незмінний
Родина Мишівкові <i>Sicistidae</i>			
45	Мишівка степова <i>Sicista subtilis</i>	Аборигенний стенотоп, малочисельний, рідкісний	Незмінний
Родина Вивіркові <i>Sciuridae</i>			
46	Вивірка звичайна <i>Sciurus vulgaris</i>	Вселенець, із 2003–2009 рр. звичайний малочисельний вид	Незмінний
Родина Стрибакові <i>Dipodidae</i>			
47	Тушкан великий <i>Allactaga major</i>	Аборигенний вид Подніпров'я, з 80-х років украї рідкісний	Вірогідно зник

біорізноманіття ссавців є значним, сягаючи майже 78% загальноукраїнського складу наземної теріофауни [17]. Упродовж 2019–2024 рр. істотних змін видового складу не відбувалось, проте змінилась чисельність та просторовий розподіл тварин. Останні зумовлені чинником неспокою внаслідок військових дій і впливом техногенної катастрофи під час руйнації Каховського водосховища.

Деталізація наявної видової структури ссавців свідчить про її істотну відмінність від раніше існуючих угруповань степового комплексу. Сучасний перелік поєднує лише залишки степового видового ядра за присутності значної частки азонань і привнесених адвентивних компонентів (інтродуценти, реакліматизанти, вселенці, мігранти). Також і за стаціонарно-біотопічною залежністю видів, їх теперішній склад демонструє присутність елементів степових, польових, навколіводних, лучно-болотних і лісових угруповань. Більшість наявних видів представлена транспалеарк-

тами, до яких відносяться майже всі хижаки (крім тхора степового), всі мідіцеподібні та копитні, 14 видів гризунів і заєць сирій (39 видів, або 84,4% наземної теріофауни).

Видовий склад ссавців загалом є досить типовим для сучасного агроландшафту Північно-Західного Причорномор'я, відрізняючись лише значною часткою навколіводних видів, пов'язаних із долиною Дніпра (водяний щур, миша-житник, видра, норка європейська). Водночас, у складі теріофауни багато адвентивних видів, як інтродуцентів (козуля, ондатра, енот уссурійський, олень європейський, норка візон,) так і вселенців (пацюк сирій, миша хатня, вивірка, шакал, тхір чорний, куниця лісова). Останні порівняно швидко заповнюють вільні екологічні ніші, проте їх екологічна роль у динамічних агроценозах досить неоднозначна і загалом майже не вивчена.

Окрім видового аналізу ссавців, із метою деталізації загальноекологічних процесів формування їх сучасного складу був

Таблиця 2. Таксономічна структура теріофауни НПП «Кам'янська Січ»

Ряди	Родини		Роди		Види	
	всього	%	всього	%	всього	%
Мідицеподібні <i>Soriciformes</i>	2	14,3	4	12,5	7	14,9
Зайцеподібні <i>Leporiformes</i>	1	7,1	1	3,1	1	2,1
Мишоподібні <i>Muriformes</i>	7	50,0	15	46,8	21	44,7
Псоподібні <i>Caniformes</i>	2	14,3	8	25,0	14	29,8
Оленеподібні <i>Cerviformes</i>	2	14,3	4	12,5	4	8,5
Разом — 5 рядів	14	100	32	100	47	100

виконаний і загально-таксономічний аналіз, яких охоплює роди і родини. Узагальнені результати аналізу таксономічної структури за рядами і родинами подані в табл. 2.

Наявна таксономічна структура теріофауни (див. табл. 2) демонструє, що найбільше видове різноманіття характерно для представників *Muriformes* (7 родин, 15 родів, 21 вид) і *Caniformes* (2 родини, 8 родів, 14 видів). Серед них лише степовими стенотопами є тхір степовий, сліпачок звичайний, сліпак подільський, мишівка степова, хом'ячок сірий і тушкан великий, всього 6 видів 6 родів 5-х родин. Наприкінці ХХ ст. степове ядро Правобережжя Нижнього Подніпров'я, за рахунок існуючого на той час крапчастого ховраха, було представлено 7 видами 6 родин. Найкрупнішими за масою тваринами є олень європейський і кабан дикий, найкрупнішим хижаком — вовк. Найменшими за масою тіла є буроzubка мала та мишка лучна. Найчисельнішими — полівка звичайна, миші хатня і курганчикова. Тому, за незначної кількості копитних, фоновими видами ссавців постають гризуни, чисельні, зокрема в агро- і урболандшафті.

Для сучасного агроландшафту степової зони загалом характерне переважання наземних і підземних гризунів, які споживають вегетативну і кореневу масу трав'янистих рослин та активно утилізують поживні залишки зернових культур у полях. Наявність чисельних гризунів, зокрема активних взимку, забезпечує кормові потреби хижаків, а мозаїчність ландшафту

з присутністю азональних гідроморфних і лісових компонентів сприяє існуванню мідицеподібних. Відповідно, видове різноманіття хижаків, наземних і навколводних, вказує на достатній кормовий потенціал біоценозів території Парку. Не менш важливо, що в складі теріофауни присутня значна частка рідкісних і малочисельних видів, які мають найвищі охоронні статуси. Наявність «червонокнижних» високоспеціалізованих стенотопів, як-от сліпачок звичайний, мишівка степова, хом'ячок звичайний і можливо ще існуючий тушкан великий, слугує важливою індикаторною ознакою повноцінності природного біорізноманіття досліджуваної місцевості.

Динамічна складова теріофауни лишається проблемною для глибокого екскурсу, насамперед через відсутність достатньої ретроспективної інформації. Документовані факти втрати декількох аборигенних компонентів первинно-степової теріофауни присутні лише для останніх 50-ти років, упродовж яких мали місце епізодичні облікові обстеження місцевостей Інгулецько-Дніпровського межиріччя. За цей час відбулись стрімкі зміни довкілля і складу фауни, які супроводжувались пригніченням і зникненням степових аборигенів (переважно стенотопів) і появою низки адвентивних видів. Головними причинами цих явищ слугували соціально-економічні чинники, які започаткували аграрні і техногенні явища трансформації природного середовища. Новітні ж зміни останніх років щодо видового складу ссавців правобережних степів та суміжної з ним долини

Дніпра зумовлені вкрай потужним, синергічно діючим наслідком природно-кліматичних, техногенних і антропогенних чинників, зокрема мілітерного походження.

У ретроспективному плані одна з перших, історично зафіксованих деградацій степового біому Південно-Правобережного Придніпров'я започаткована з середини XVIII ст. Пов'язана вона з елімінацією кочової форми землекористування і виникненням осілого населення, що практикувало різні форми богарного землеробства та відгінного (стокерного) тваринництва. Внаслідок цього, на початок XIX ст., коли степові екосистеми Нижнього Подніпров'я ще не піддавались істотній орній трансформації, з числа диких тварин найбільш помітним лишився вже малочисельний кінь-тарпан. Ключовим хижаком на вершині трофічної піраміди місцевих екосистем був вовк, а фоновими видами стали чисельні гризуни. Останні забезпечували виживання різноманітних хижаків, як-от тхір степовий, тхір-перев'язка, лисиця і вірогідно корсак *V. corsac*. Отже, ретроспективна, досить відносна оцінка видового складу місцевої наземної теріофауни на кінець XVIII – початок XIX ст. охоплює максимум 35 видів, що поєднували представників виключно степових і декілька видів лучно-плавневих угруповань.

Подібна структура теріофауни утримувалась майже до кінця XIX ст., тобто до початку розширеної орної експлуатації придніпровських степів. Її темпи були істотними і вже в 1876–1878 рр. на фоні трирічної посухи призвели до виникнення чисельних проявів вітрової ерозії з набуттям ознак локально-регіональної екологічної катастрофи. Остання змусила частину землевласників повернутись до тваринництва, як основної форми господарювання і зумовила необхідність розробки нових шляхів степового землекористування [18]. Яка саме ситуація у той час була за складом теріофауни, певно вже встановити неможливо, проте безперечно, що за виключенням копитних, основне ядро видів лишалось близьким до первинного і складало принаймні 25 аборигенних видів та 3–4 адвен-

тивних (переважно представники родентофауни) [19]. Місцеві екосистеми, завдяки пасовищному навантаженню, практично до середини XX ст. стало утримували механізми балансування потоків речовини та енергії, в яких брали участь і місцеві види гризунів, комахоїдних і хижаків.

Теріофауна середини XX ст. Аналіз нівітнього (1954–2024 рр.) складу наземної теріофауни охоплює найбільш ситуаційно динамічний період — із початку побудови Каховського водосховища і до його руйнації в 2023 р. Так, до початку будівництва водосховища правобережні степи Нижнього Подніпров'я представляли собою малозаселену рівнинно-степову місцевість за повної відсутності доріг із твердим покриттям. Відбувались початкові етапи створення польових лісосмуг, частка оранки становила лише 35–37% за наявності значних площ природних степів, використовуваних під пасовища. Фоновими видами слугували мешканці рівнинно-степових біотопів, які в умовах агрогенно трансформованого агроландшафту поєднували аборигенні (11–12 видів) та адвентивні (5–7 видів) форми дрібних *Muriformes* і залежних від них *Caniformes* (5–7 видів), зокрема звичайним був вовк. Значну чисельність у степо-польовому ландшафті утримував заєць. Сталу присутність у прибережних балках різноманітних *Soriciformes* (5–7 видів) зумовлював Дніпровський лісо-плавневий резерват [20].

Зниклі види. В якості зниклих за останні 70 років (станом на 01.01.2025 р.) впевнено можливо вказати лише два види — це тхір-перев'язка і ховрах крапчастий. Втім, насправді сучасне існування значно більшої кількості аборигенних представників наземної теріофауни досить сумнівне і вірогідність їх остаточного зникнення вкрай висока. Можливо, що їх представники, маючи критично низьку чисельність і на фоні відсутності системних зоологічних обстежень степових рівнин Правобережного Подніпров'я, уникають обліку. Так, недавна зниклим вважався і сліпачок, поселення якого, невідомі до початку XXI ст., були знайдені в районі сіл Милове і Коч-

карівка Бериславського р-ну Херсонської обл. Подібна ситуація щодо невизначеності остаточного статусу нині характерна для тушкана великого і тхора степового.

Рідкісні та нечисельні види. Це досить об'ємна група, представники якої утримують мінімальну чисельність і зустрічаються випадково. Головною причиною їх малочисельності є трансформація природного середовища та істотні зміни місцевих ценотичних формувань, елементами яких постають аборигенні ссавці. Так, побудова Каховського водосховища і затоплення Великого Лугу в середині ХХ ст. зумовили майже миттєву елімінацію багатой теріофауни плавнево-острівних угруповань Дніпра, витіснивши її представників у прибережні балки та схили. До того ж майже зникли рідкісні вже на той час норка європейська, видра та переважна більшість різновидових мідичеподібних *Soriciformes*. Останні первинно утримували значну чисельність і відігравали важливу екологічну роль у підтримці сталості місцевих біоценозів, зокрема слугуючи важливими прокормлювачами личинкових форм кліщів та ключовими компонентами спонтанних кіл циркуляції збудників природних інфекцій [21]. Представники мідичеподібних, витіснених із плавнів у затоки і на береги Каховського водосховища, надалі знаходились під надмірним пресом наземних і повітряних хижаків та численних плазунів (переважно *N. tessellata*) і до наявного часу досить малочисельні.

Аналогічна ситуація після створення водосховища склалась і для місцевої популяції фонового аборигена плавнів Дніпра — щура водяного, життєвий простір якого був по суті ліквідованим. Певний антагонізм зі сторони ондатри в обмежених за площею плавневих стаціях за постійних коливань зимового рівня води у водосховищі призвели до того, що на початок ХХІ ст. водяний щур став рідкісним.

Непрямої вплив Каховського водосховища, виражений через трансформацію степів у зрошувальні поля, зумовив й істотні зміни складу, поширення та чисельності представників усієї групи степових абори-

генів. Уже в останній чверті ХХ ст. стали вкрай рідкісними спеціалізовані стенотопи — тушкан великий, мишівка степова, хом'як звичайний, хом'ячок сірий. Зниклим вважали і сліпачка. Більш задовільним був стан поселень ховраха крапчастого та сліпака подільського, проте наприкінці 90-х рр. перший став рідкісним і надалі (з 2003 р.) повністю зник. Разом із ховрахом зник і білий степовий тхір. Сліпак в умовах зрошуваних земель зумів вижити і загалом утримує сталу чисельність. За загальної рідкісності сліпачка в Україні, в межах Парку цей вид є звичайним, хоча й малочисельним.

Із групи адвентивних видів, інтродукованих у Подніпров'ї, через брак відповідних стацій рідкісними є ондатра та єнот уссурійський.

Новітні вселенці та репатріанти. Досить значна група тварин, які з'явилися у межах досліджуваної території за останні 70 років, сягаючи нині до третини видового складу. Певно, що найпомітнішими видами-репатріантами стали копитні — козуля та олень європейський, а також бобер, які були інтродукованими в Подніпров'ї ще в другій половині ХХ ст. Слід очікувати, що в умовах відновлення плавнево-руслової екосистеми Дніпра бобер уже в найближчі роки вийде в число фонових видів. Порівняно малочисельні козуля та олень утримують сталу присутність, концентруючись на території Парку в осінньо-зимовий період. Це свідчить про виражену міграцію копитних із навколишніх місцевостей до охороняємих угідь, які набувають значення важливого сезонного резервату.

За формальними ознаками до групи видів-репатріантів можна віднести й вовка, винищеного в Подніпрі ще на початку 70-х років і відсутнього до 1998 р., коли в Бериславському р-ні був здобутий перший після тридцятирічної перерви вовк. На початку ХХІ ст. останній вже став звичайним мешканцем Інгулецько-Дніпровського межиріччя, проявляючи ознаки часткової синантропності. В межах Парку вовк виключно прохідний звір, який після руйна-

ції водосховища став інтенсивно освоювати нетрі річкової долини.

Виключно адвентивними для рівнинних степів Подніпров'я є новітні вселенці — шакал і американська норка візон та група лісових видів — чорний лісовий тхір, лісова куниця, нориця руда, миша лісова, вівірка. Останні проникли у степове межиріччя Інгульця-Дніпра завдяки створенню штучних лісонасаджень і загалом утримуються у цих біотопах. Окрім того, шакал, проявляючи виражені ознаки синантропа, все-таки лишається залежним від плавнів і тугаїв, лише іноді трапляючись у степово-лісових місцевостях.

Фантомні види та епізодичні мігранти.

Це відносно умовна група видів, досить динамічна в часі та просторі. Поєднує види, відсутність зустрічі яких зумовлена рідкісністю чи зникненням, або випадковим проникненням із сусідніх місцевостей. Виключно фантомними для досліджуваної території нині є тушкан великий, тхір-перев'язка, білий степовий тхір, лось і певною мірою — кіт лісовий. До того ж перші вірогідно зникли, тоді як лось і кіт лісовий періодично трапляються, проте осілих груп не утворюють.

Стабільна складова теріофауни, стан популяції та перспективи збереження.

В умовах глибоких трансформацій середовища і обмеження агрогосподарської діяльності практично всі компоненти місцевої теріофауни зазнали істотних кількісних змін. Станом на сьогодні лише невелика частка аборигенних видів степового (5 видів) і навколородного комплексу (3 видів) зберігають свою присутність, декілька видів зникли (2–5 видів) і з'явилися 8 видів, нових для цієї території. Так, із числа спеціалізованих степових стенотопів первинні позиції утримали лише сліпачок звичайний і сліпак подільський. Раніше фоновий вид — ховрах крапчастий та малочисельний хом'як звичайний і хом'ячок сірий відсутні.

Інші степові аборигени, як-от полівка сіра (*M. arvalis sensu lato*) і миша курганцева, знайшли в полях оптимальні умови і проявляючи значну екологічну пластич-

ність, набули масовості. Також масовим видом стала й миша хатня, екзантропні субпопуляції якої впродовж ХХ ст. постійно присутні в агроландшафті. Особливо значною була чисельність полівки, хатньої та курганцевої мишей у полишених обробках полях і на стерні соняшника в 1994–2008 рр., періодично проявляючи до того ж ущільнені спалахи розмноження. У міру нормалізації агровиробництва та своєчасної оранки полів чисельність мишоподібних гризунів у доквіллі стала порівняно стабільна. Втім, саме полівка сіра, миша курганцева та миша хатня так і лишаються найбільш масовими видами стабільно існуючої теріофауни. Ще одним постійно присутнім видом агроландшафту є лисиця звичайна, живлення якої значною мірою забезпечено мишоподібними гризунами.

З числа теріофауни зволжених та гідроморфних біотопів стабільну присутність і відносно сталу чисельність утримали найдрібніші представники мідцеподібних — білозубка мала і мідця звичайна (бурозубка), а з числа навколородних — видра. Мишка лучна, за відносної малочисельності, також є стабільно присутнім компонентом теріофауни, зустрічаючись у полях і схилових ділянках ковилової рослинності.

Групу стабільно масових видів із середини–кінця 70-х рр. ХХ ст. поповнили й представники лісового теріокомплексу, серед яких найбільш поширеним і чисельним став мишак європейський (миша лісова). Представники цього виду присутні в лісосмугах, берегових і балкових лісонасадженнях, зустрічаються в полях, у садах, чагарниках і навіть у населених пунктах. Інші лісові види — мишак жовтогорлий і нориця руда порівняно рідкісні й чітко залежні від лісових біотопів.

Загалом, умовно «успішні» види поєднують групу аборигенів і реакліматизантів, здатних виживати в агроландшафті, проявляючи значну екологічну пластичність і тому більш тяжіють до еврибіонтів. Їх представниками є заєць сірий, козуля, кабан дикий і певною мірою олень європейський. Чисельність цих тварин, проявляючи помітні коливання, залежна від

кормових і кліматичних умов року та пресу мисливського вилучення, проте загалом досить стабільна. Істотною завадою цьому стала тимчасова окупація Парку (2022 р.), яка супроводжувалась неспокоєм тварин через інтенсивне переслідування і зухвале браконьєрство. На початок 2025 р. стан місцевих субпопуляцій мисливських видів демонструє позитивні темпи росту.

Узагальнюючи результати виконаних досліджень, закономірно визнати, що значно динамічний і явно ситуативний видовий склад новітнього теріокомплексу Нижнього Подніпров'я проявляє тенденцію подальшої елімінації вузькоспеціалізованих степових аборигенів і поступовим розширенням адвентивної групи з числа екологічно пластичних видів. За цих умов територія Національного природного парку «Кам'янська Січ» залишається ключовим резерватом для низки рідкісних видів ссавців із найвищим статусом охорони, забезпечуючи їх збереження та відтворення. Опрацьований матеріал та його аналіз дає змогу сформулювати висновки, важливі в агроекологічному відношенні та в плані охорони біорізноманіття.

ВИСНОВКИ

1. Рівнинно-степовий простір Інгулецько-Дніпровського межиріччя і зокрема територія НПП «Кам'янська Січ» наразі є

ареною існування специфічного комплексу наземної теріофауни, яка поєднує представників степових, навколородних і лісових угруповань у складі 47 видів.

2. Трансформуючись унаслідок тривалого впливу природно-антропогенних і потужних техногенних чинників, сучасна теріофауна досліджуваної території в загально-таксономічній структурі демонструє кількісне лідерство *Muriformes* (7 родин, 15 родів, 21 вид) і *Caniformes* (2 родини, 8 родів, 14 видів). Достовірно втраченими є два види — тхір-перев'язка і ховрах крапчастий (2 роди, 1 родина).

3. Руйнація Каховського водосховища започаткувала глибокі перетворення техногенно трансформованої місцевості Нижнього Подніпров'я, які супроводжуються інтенсивними процесами природного відтворення степових і плавневого-острівних біотопів долини Дніпра. Не менш інтенсивно відбувається і їх освоєння тваринами, що активно розселяються в новітній лісоплавневій арені та формують там первинні угруповання, динаміка і напрям розвитку яких поки що не піддаються детальному прогнозу.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з деталізацією видового складу теріофауни та оцінкою екологічної ролі її складових у сучасному агроландшафті, який вже набув богарного типу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про створення Національного природного парку «Кам'янська Січ». Указ Президента України №140 (2019). (Україна). URL: <https://www.president.gov.ua/documents/1402019-26530>.
2. Білоус, Л. Ф. (2020). *Біогеографія*. Київ: Вид. КНУ імені Тараса Шевченка.
3. Бажан, О. (2023). Каховське водосховище: історія створення та наслідки. *Краснзнавство*, 3–4, 147–154.
4. Wilkinson, M., Dumontier, M., & Aalbersberg, I. J. (2016). The FAIR Guiding Principles for Scientific Data Management and Stewardship. *Scientific Data*, 3(1), 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>.
5. Геродот, & Білецький, А. (Пер.). (1993). *Історії в дев'яти книгах: Кн. IV. Мельпомена*. Київ: Наукова думка.
6. Nordmann, A. (1840). *Observations sur la Faune Pontique. Mammalia. Voyage dans la Russie méridionale et la Crimée*. Paris.
7. Шарлемань, М. (1920). *Звірі України. Короткий порадник до визначання, збирання і спостереження ссавців (Mammalia) України*. Київ: Всеукр. кооп. видавн. союз (Вукоопспілка).
8. Барабаш-Никифоров, І. І. (1928). *Нариси фауни степової Наддніпряниці*. Дніпропетровськ: Держ. видав. України.
9. Зубко, Я. П. (1940). Фауна ссавців Нижнього Дніпра. *Наукові записки Харківського державного педагогічного інституту*, 4, 49–87.
10. Шарлемань, М. В. (1936). *Зоогеографія УРСР*. Київ: Вид-во АН УРСР.
11. Рашевська, Г. В. (2018). *Гризуни зональних ландшафтів Правобережного степу України: видовий склад, поширення і чисельність* [Дис. канд. біол. наук, Інститут зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України]. Київ.
12. Коробченко, М., Загороднюк, І., & Редінов, К. (2014). Огляд поширення та морфометричні

- особливості сліпачка *Ellobius talpinus* (Arvicolidae) у регіоні Нижнього Подніпров'я (Україна). *Proceedings of the Theriological School*, 12, 89–101.
13. Наконечний, І., Скорик, С., & Ходосовцева, Ю. (2021). Екологічна специфіка середовища існування сліпачка звичайного *Ellobius talpinus* у НПП «Кам'янська Січ» (2020). *Theriologia Ukrainica*, 22, 26–31.
 14. Мерзлікін, І. (2019) Рідкісні види гризунів на фрагментарних степових ділянках Правобережного Нижнього Подніпров'я: Нові знахідки. *Theriologia Ukrainica*, 18, 133–136.
 15. Херсон. Український гідрометеорологічний центр державної служби України з надзвичайних ситуацій. URL: <https://www.meteo.gov.ua/>.
 16. Сорокіна, Л. Ю. (2019). Єдина класифікація природних і антропогенно змінених ландшафтних комплексів. Київ: Вид-во «Сталь».
 17. Загороднюк, І., & Харчук, С. (2020). Список ссавців України 2020: доповнення та уточнення. *Theriologia Ukrainica*, 20, 10–28.
 18. Цибуленко, Г., & Цибуленко, Л. (2015). Аграрна криза на тлі екологічної катастрофи в Херсонській губернії на початку ХХ століття. *Scriptorium nostrum*, 3, 107–124.
 19. Мигулін, О. О. (1938). *Звірі УРСР (матеріали до фауни)*. Київ: Вид-во АН УРСР.
 20. Сокур, І. Т. (1961). *Історичні зміни та використання фауни ссавців України*. Київ: Вид-во АН УРСР.
 21. Наконечний, І. В., & Серебряков, В. В. (2013). *Збудники природно-осередкових інфекцій в екосистемах Півдня України*. Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка.

Стаття надійшла до редакції журналу 11.02.2025

ПАРАДИГМА ЦИРКУЛЯЦІЙНОЇ ЕКОНОМІКИ В СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

А.М. Москаленко¹, В.П. Колоша²

¹Інститут сільськогосподарської мікробіології
та агропромислового виробництва НААН (м. Чернігів, Україна)
e-mail: ekotam2017@gmail.com; ORCID: 0000-0001-7223-6862

²Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: piskivske@ukr.net; ORCID: 0000-0003-3946-6775

Досліджується поняття циркулярної економіки, її взаємозв'язок зі сталим розвитком, іншими напрямками економічних досліджень. Наголошується, що сьогодні проблематика циркулярної економіки охоплює питання переробки відходів, відновлювальних джерел енергії, збереження природних середовищ, соціальні аспекти. Метою роботи є оцінка місця і ролі циркулярної економіки на сучасному етапі розвитку аграрного сектору, визначення поняття «парадигма циркулярної економіки», оцінки динамічних процесів відтворення родючості ґрунтів під кутом зору циркулярних процесів. Сформовано власне бачення поняття «парадигма циркулярної економіки» як виробничої діяльності, яка базується на мінімізації залучення нових природних ресурсів у процес виробництва, водночас із мінімізацією споживання невідновлювальної енергії. Запропоновано коефіцієнт циркулярного відновлення поживних речовин. Апробація даного коефіцієнта здійснювалася на прикладі України, Польщі та Канади за період 1992–2020 рр. Встановлено, що в Україні зменшується рівень циркулярного відновлення поживних речовин, особливо азоту. Головним чинником даного процесу стало зменшення надходження азоту через скорочення внесення гною. Зроблено висновок, що саме даний тренд є головним чинником загального зменшення величини запропонованого нами коефіцієнта циркулярного відновлення поживних речовин. Своєю чергою, зменшення надходження гною обумовлюється істотним скороченням поголів'я худоби. Крім того, починаючи з 2011 р. зменшилося надходження азоту через його біологічну фіксацію, що пов'язане з поступовими змінами структури посівних площ. Також має місце зменшення рівня циркулярного відновлення фосфору починаючи з 2006 р. У Польщі та Канаді значення коефіцієнта циркулярного відновлення поживних речовин мають відносно стабільний характер. Це ставить стратегічні питання відносно подальшого розвитку всього сільського господарства та необхідності проведення спеціальної державної політики щодо зміни ситуації. Ця політика має бути спрямована на підтримання біорізноманіття, розвиток органічного виробництва, циркулярного рівня всього сільського господарства.

Ключові слова: поживні речовини, органічне землеробство, сталий розвиток, коефіцієнт відновлення поживних речовин.

ВСТУП

Економічний розвиток у світі протягом останнього століття дозволив багатьом країнам істотно підняти рівень життя населення, створити системи соціального захисту, збільшити тривалість життя. Стрімка урбанізація, розвиток торгівлі, цифрових технологій сформували нову ситуацію, в якій людина отримала можливість, яких ще не було 10–20 р. тому. Разом із тим, виникли негативні моменти та нові конфлікти. Це передусім стосуєть-

ся екологічної ситуації в широкому розумінні та соціальних проблем. Глобальне використання ресурсів зросло в світі від 23,7 млрд т у 1970 р. до 92 млрд т у 2018 р. [1]. Дана ситуація поставила перед науковою спільнотою нові питання стосовно можливих шляхів їх вирішення. Одним із варіантів стала концепція сталого розвитку, яка почала стрімко поширюватись у 70-х та 80-х рр. минулого століття. Її початок, як правило, пов'язується зі Стокгольмською конференцією 1972 р. і доповіддю «Межі зростання», яка поставила питан-

ня про взаємозв'язок економічного та соціального розвитку водночас із вирішенням екологічних проблем [2].

Наступним етапом стала поява концепції циркулярної економіки. Одним із перших, хто сформулював дану концепцію, були Pearce і Turner [3]. Концепція циркулярної економіки набирає обертів з кінця 1970-х р. [4]. Сучасне розуміння циркулярної економіки та її практичного застосування в економічних системах і промислових процесах розвинулося, щоб включити різні особливості та внески різноманітних концепцій, які поділяють ідею замкнутого циклу [5].

Значущість циркулярної економіки сьогодні в світі визнана на рівні ООН. Автори доповіді «Прогнозна оцінка світового ресурсного потенціалу 2019», яка була видана під егідою ООН, відмічають: «*Економіка замкнутого циклу сприяє збереженню виробленої вартості та скороченню впливу на навколишнє середовище, одночасно дозволяючи знижувати витрати та створювати нові економічні можливості*» [6].

Мета роботи — оцінити місце і роль циркулярної економіки на сучасному етапі розвитку аграрного сектору як в Україні, так і в світі, визначити поняття «парадигма циркулярної економіки», оцінки динамічних процесів відтворення родючості ґрунтів під кутом зору циркулярних процесів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Розпочнемо з розгляду поняття категорії «циркулярна економіка». Одне з найбільш поширених серед них визначає її як «Економічну систему, яка є відновлювальною та регенеративною за своїм задумом та планом». Циркулярна економіка визначається І. Дороніною «... як відновлювальна та регенеруюча економіка, спрямована на подовження максимальної корисності та цінності продуктів, компонентів і матеріалів» [7]. Geissdoerfer та ін. [8] вважають, що циркулярна економіка — це регенеративна система, в якій витрати ресурсів та відходи, викиди та витік енергії зводяться

до мінімуму за рахунок уповільнення, закриття та звуження матеріальних та енергетичних циклів. Також відмічається, що циркулярна та стала економіка мають багато спільного. Це обумовлено тим, що цілі сталого розвитку є відкритими, і різні автори звертаються до різних їх аспектів, диференціюючи їх та пропонуючи власні погляди відносно можливих шляхів розв'язання. Перехід до економіки замкнутого циклу дедалі частіше розглядається як рішення для сталого розвитку. Вплив на навколишнє середовище, обмеження ресурсів, а також економічні та соціальні переваги є одними з причин, які виправдовують створення підприємств з елементами циркулярної економіки. Водночас перехід від традиційного до циркулярного бізнесу вимагає трансформації компонентів бізнес-моделі та глибоких змін у всіх суб'єктах екосистеми [9]. Дещо пізніше циркулярна економіка була визначена як «промислова система, яка є відновною або регенеративною за задумом» [10]. Фактично фокус було перенесено на мінімізацію витрат ресурсів шляхом повторного їх використання, що, своєю чергою, повинно зменшити вплив на природу. Також з'явилися концепції зеленої економіки та біоекономіки. В подальшому вони трансформувались у поняття циркулярної біоекономіки [11; 12].

Konietzko [13], провівши понад 20 інтерв'ю з виробниками, виділяє принципи, на яких має базуватися модель переходу до циркулярного бізнесу. Виділяється три групи принципів:

1) *співпраця* (тобто, як фірми можуть взаємодіяти з іншими організаціями у своїй екосистемі, щоб впроваджувати інновації в напрямку циклізму);

2) *експериментування* (тобто, як фірми можуть організувати структурований процес проб і помилок);

3) *платформізація* (тобто, як фірми можуть організувати соціальну та економічну взаємодію через онлайн-платформи для досягнення більшої циклічної взаємодії).

Jerome та ін. [14] відмічають важливість індикаторів для оцінки рівня циркуляр-

ності економіки. Серед них виділені такі: скорочення витрат, зміна складу матеріалів, збільшення терміну служби (включаючи повторне використання або відновлення), переробка матеріалів, використання відновлювальної енергії. Слід також зазначити, що єдиної думки по індикаторах рівня циркулярності економіки не існує. Однак це важливе питання. Без відповідного виміру неможливо статистично оцінювати рівень та характер явища. В даному випадку мова йде про поєднання теоретичних поглядів з реальною практикою. Саме це зазначається в дослідженні Helander та ін. [15]. Автори вважають, що існують прогалини передусім відносно показників продовження терміну служби готової продукції. Водночас, із проаналізованих 36 показників 28 тією чи іншою мірою стосувалися переробки продукції шляхом кількісного визначення потенційно придатних для вторинної переробки матеріалів. Більшість проіндексованих у Scopus робіт українських учених також сфокусовані на взаємозв'язках циркулярної економіки з управлінням відходами та євроінтеграційним контекстом. Крім того, до недавнього часу жодна з них не стосувалася аграрного сектору [16].

Найважливішими індикаторами, що характеризують циркулярну економіку, як вважає І. Зварич [17] є: рівень переробки побутових відходів; рівень переробки відходів загалом, окрім основних мінеральних; рівень переробки відходів упаковки; рівень переробки електронних відходів; рівень переробки біологічних відходів; рівень переробки будівельних і мінеральних відходів. Інші автори виділяють чотири основні сфери та відповідні показники: продуктивність ресурсів, циркулярна діяльність, виробництво відходів, викиди енергії та парникових газів [18]. Один із напрямів у даному контексті є біопереробка відходів. Цей напрям привертає дедалі більше уваги під час їх переробки у промислову продукцію. Це, на думку Ајауї та ін. [19], має першорядне значення у парадигмі сталого розвитку використання ресурсів і внеску в біоекономіку замкнутого циклу.

У сільському господарстві розвиток циркулярної економіки дуже часто пов'язується зі зменшенням викидів азоту. Останній є частиною складного циклу, в якому перетворюючі реакції є не лише важливим елементом для живих організмів, але й сприяють негативним впливам на навколишнє середовище, таким як евтрофікація та зміна клімату. Щоб зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, на думку Siddiqui [20], необхідно замкнути азотний цикл, скоротити використання синтетичних азотних добрив на основі вичерпаного палива та повернути потоки багатих азотом матеріалів та відходів у продовольчу систему. Також у сільському господарстві актуальною проблемою є викиди вуглекислого газу (CO_2). Він утворюється в тваринництві і може бути використаний за певних обставин як поживна речовина [21]. На думку С. Страпчук *«...лише деякі показники здатні вимірювати стратегії регенерації циркулярної економіки для аграрного сектору. В ході дослідження різних аспектів сталого розвитку не було знайдено жодного показника, який би аналізував стратегію відновлення з економічної чи соціальної точки зору»* [22].

Виникає питання: яким чином поняття сталого розвитку, циркулярної економіки пов'язані між собою з точки зору їх парадигми. Для відповіді на це питання звернемось до трактування самого поняття «парадигма». Дане поняття було введено в науковий обіг американським істориком науки Т. Кuhn [23] в його книзі «Структура наукових революцій». Згідно з Т. Кuhn створення парадигми є свідченням того, що досягнута узгодженість щодо зразків дослідницької методології, яка знаходить свій вираз у виборі проблем дослідження, а також у сукупності теоретичних і методологічних передумов, які визначають напрям конкретних досліджень.

Парадигма — це система методологічних орієнтирів на певному етапі розвитку науки, яка у відповідності із визначенням її суті, віддзеркалює особливості цього етапу. Вона визначає методологічні орієнтири до вирішення конкретних проблем, а також

окреслення кола наукових проблем, які підлягають опрацюванню і визначенню найбільш раціональних шляхів їх вирішення.

Парадигма циркулярної економіки, зазначає І. Зварич, це «*виробнича модель, спрямована на підтримку сталого економічного розвитку без завдання шкоди навколишньому середовищу... Циркулярні економіки описуються як відновлювальні, регенеративні та цілісні. Цілісна циркулярна економіка в умовах реалізації цілей*» [21]. З нашої точки зору дане визначення породжує окремі питання. Передусім робить ся посилання на те, що парадигма циркулярної економіки є частиною проблематики сталого розвитку, з уточненням відносно навколишнього середовища. По-перше, це фактично не є відповіддю на питання «Що таке парадигма циркулярної економіки?». По-друге, сама проблема сталого розвитку вже включає в себе екологічний аспект, тому немає додаткових підстав для окремого виділення цієї проблеми. Наша позиція відносно поняття «парадигми циркулярної економіки» така: це виробнича діяльність, яка базується на мінімізації залучення нових природних ресурсів у процес виробництва водночас з мінімізацією споживання невідновлювальної енергії.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Під час дослідження використано діалектичні методи пізнання процесів і явищ, зокрема монографічний (аналіз та трактування поняття «циркулярна економіка», «парадигма наукових досліджень»), емпіричний (оцінка рівня циркулярності відтворення поживних речовин ґрунту), метод аналізу та синтезу (аналіз сучасного стану й основних тенденцій розвитку циркулярної економіки), абстрактно-логічний (теоретичні узагальнення та формулювання висновків). Окрім того, було запропоновано визначення коефіцієнта циркулярного відновлення поживних речовин та проведено його аналіз в динаміці на прикладі України, Польщі та Канади.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

З огляду на висвітлені принципи та позиції відносно циркулярної економіки було вирішено оцінити динаміку її зміни. З цією метою використовувалась дані, наведені на сайті Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР). На даному сайті викладені різні показники, які стосуються різних галузей та видів діяльності. З огляду на обрану проблематику, наша увага була зосереджена на даних по групі «Агроекологічні показники (Поживні речовини)» [24]. Цей розділ містить інформацію по фосфорному та азотному балансах. Наводяться канали надходження та витрат даних видів поживних речовин. Серед них є два показники, які можуть свідчити про рівень циркулярності використання сільськогосподарських земель: надходження через внесення гною, та азотфіксацію й біологічну мобілізацію фосфору. Дані канали надходження формують замкнутий цикл виробництва і можуть функціонувати без додаткового внесення добрив.

З огляду на ці принципи, для оцінки рівня циклічності виробництва пропонується порівнювати кількість відновлювальних поживних речовин шляхом їх внесення через застосування органічних добрив та азотфіксацію й біологічну мобілізацію важкорозчинних ґрунтових сполук фосфору до загального їх надходження відповідно. Даний коефіцієнт пропонується як коефіцієнт циркулярного відновлення поживних речовин. Його формула має такий вигляд:

$$КЦВ = \frac{СГ_{N(P)} + БФ_{N(P)}}{ЗВ_{N(P)}}$$

де КЦВ — коефіцієнт циркулярного відновлення поживних речовин; $СГ_{N(P)}$ — величина надходження азоту (фосфору) з гною; $БФ_{N(P)}$ — величина біологічної фіксації азоту (біологічного розчинення важкодоступних сполук фосфору в ґрунті); $ЗВ_{N(P)}$ — загальна величина надходження азоту (фосфору).

Запропонований коефіцієнт було вирішено проаналізувати в динаміці за 1992–

**Динаміка зміни коефіцієнта циркулярного відновлення поживних речовин
в окремих країнах у 1992–2020 рр.**

Роки	Азот			Фосфор		
	Україна	Канада	Польща	Україна	Канада	Польща
1992	0,630	0,489	0,392	0,650	0,441	0,335
1993	0,708	0,504	0,479	0,772	0,459	0,468
1994	0,716	0,495	0,493	0,848	0,459	0,596
1995	0,736	0,496	0,450	0,842	0,451	0,560
1996	0,796	0,492	0,424	0,858	0,450	0,550
1997	0,771	0,493	0,398	0,835	0,466	0,501
1998	0,756	0,477	0,385	0,851	0,461	0,464
1999	0,783	0,479	0,382	0,868	0,446	0,463
2000	0,765	0,488	0,372	0,857	0,441	0,457
2001	0,730	0,498	0,373	0,838	0,460	0,451
2002	0,713	0,504	0,356	0,864	0,461	0,438
2003	0,711	0,527	0,346	0,888	0,481	0,419
2004	0,673	0,524	0,359	0,862	0,483	0,466
2005	0,644	0,517	0,377	0,847	0,474	0,473
2006	0,615	0,526	0,348	0,712	0,479	0,444
2007	0,602	0,547	0,358	0,696	0,508	0,450
2008	0,533	0,546	0,344	0,667	0,519	0,380
2009	0,549	0,516	0,334	0,641	0,485	0,395
2010	0,554	0,495	0,311	0,642	0,463	0,353
2011	0,435	0,497	0,312	0,591	0,488	0,388
2012	0,409	0,493	0,332	0,536	0,459	0,421
2013	0,443	0,473	0,317	0,567	0,422	0,365
2014	0,406	0,447	0,308	0,584	0,397	0,364
2015	0,405	0,428	0,289	0,536	0,387	0,350
2016	0,356	0,439	0,305	0,422	0,371	0,381
2017	0,324	0,428	0,342	0,408	0,351	0,413
2018	0,338	0,438	0,337	0,477	0,334	0,393
2019	0,312	0,454	0,319	0,424	0,347	0,402
2020	0,323	0,420	0,325	0,503	0,312	0,411

Примітка: за даними [24].

2020 рр. на прикладі України та Канади, та за 1992–2019 рр. на прикладі Польщі. Вибір саме цих країн обумовлений тим, що по-перше, вони є розвинутими виробниками агропродукції. По-друге, ці країни мають подібні природно-кліматичні умови, хоча і з окремими особливостями. Відповідні дані наведено в *табл.*

Наведені результати дають можливість зробити висновок, що в Україні істотно

погіршилася ситуація з рівнем циркулярності азоту. В 1992 р. величина коефіцієнта дорівнювала 0,630, у 1996 р. вона зросла до максимуму – 0,796. Починаючи з 1999 р. значення коефіцієнта циркулярного відновлення поживних речовин почало стрімко зменшуватись. У 2019 р. воно досягло мінімуму – 0,312. Для того щоб зрозуміти, які чинники визначили подібний результат, звернемося до *рис. 1.*

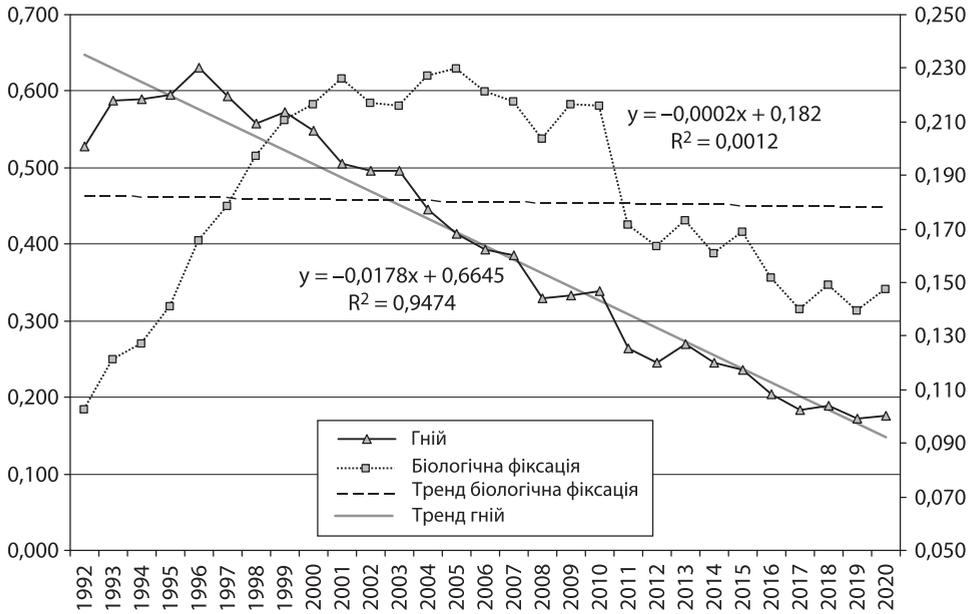


Рис. 1. Динаміка коефіцієнта циркулярного відновлення за рівнем внесення гною та фіксації атмосферного азоту в Україні у 1992–2020 рр.

Примітка: розроблено авторами за власними розрахунками.

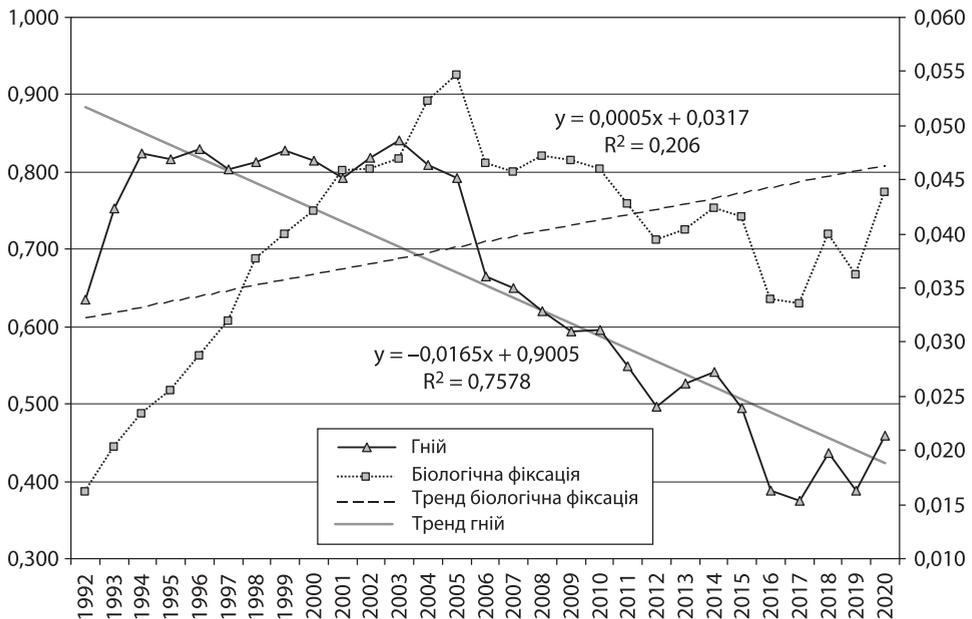


Рис. 2. Динаміка коефіцієнта циркулярного відновлення фосфору за рівнем внесення гною та біологічної мобілізації з важкорозчинних ґрунтових фосфатів у 1992–2020 рр.

Примітка: розроблено авторами за власними розрахунками.

На *рис. 1* наведена динаміка зміни двох складових коефіцієнта циркулярного відновлення азоту: біологічна фіксація та внесення гною. Виявляється, що тенденція відносно біологічної фіксації азоту мала відносно нейтральний характер змін, про що свідчить рівняння тренду, яке практично паралельне осі *x*. Хоча сам характер зміни даного показника був неоднозначним. До 2001 р. його величина постійно зростала, після чого почався період відносної стабільності, однак починаючи з 2011 р. маємо чіткий тренд на зменшення даного показника до рівня 0,148 у 2020 р. На нашу думку, це пов'язано зі зниженням обсягів виробництва у тваринницькій галузі, що відобразилося на структурі сівозмін (відсутність багаторічних бобових трав як активних азотонакопичувачів).

Що стосується відновлення азоту через внесення гною, то ситуація виявилася зовсім іншою. Починаючи з 1997 р., відбулося поступове зменшення рівня циркулярного відновлення азоту за рахунок гною. Величина коефіцієнта за цей період зменшилася від 0,593 до 0,173. Саме даний тренд є головним чинником загального зменшення величини запропонованого нами коефіцієнта циркулярного відновлення поживних речовин.

Що стосується ситуації у Польщі та Канаді, то передусім слід відмітити, що в цих країнах величина коефіцієнта циркулярного відновлення поживних речовин має відносно стабільний характер. За показниками азоту значення коефіцієнта циркулярного відновлення дорівнювали в Канаді в 1992 р. — 0,489, у 2002 р. — 0,504, у 2020 р. — 0,420. Що стосується Польщі, то цей показник також мав відносний рівень стабільності по обраних роках. Слід також окремо відмітити, що абсолютне значення даного показника в Україні та Польщі в 2020 р. було майже рівним (0,323 та 0,325 відповідно). В Канаді величина коефіцієнта була на більш високому рівні (0,420).

Що стосується динаміки зміни коефіцієнта циркулярного відновлення поживних речовин за фосфором. В Україні його величина впродовж досліджуваного пе-

ріоду була відносно стабільною. В 1992 р. вона дорівнювала 0,650, в 2002 р. — 0,864, в 2020 р. — 0,503. Однак даний результат став наслідком протилежних тенденцій у зміні рівня циркулярності коефіцієнта за величиною внесення гною та біологічним розчиненням важкодоступних для рослин сполук фосфору в ґрунті (*рис. 2*). Щодо надходження фосфору до рослин унаслідок біологічних процесів, то в цьому випадку чітко простежується тенденція зростання показників упродовж 1992–2005 рр., з подальшим зниженням та стабілізацією у 2011–2020 рр. Варто підкреслити, що величина фосфору, яка вивільняється з важкорозчинних ґрунтових фосфатів, була незначною. Вона приблизно в 10 разів поступалася показникам його надходженню від гною.

Стосовно динаміки зміни коефіцієнта циркулярного відновлення фосфору у Польщі та Канаді. Передусім слід відмітити, що в цих країнах його величина мала доволі стабільний характер. Якщо в Україні значення стандартного відхилення коефіцієнта за період, що аналізується, дорівнювало 0,161, то в Польщі воно було рівним 0,061, а в Канаді — 0,063. Крім того, в цих країнах відсутня статистика по біологічній мобілізації фосфору (що, з огляду на незначні величини даного показника, є не критичним для оцінки реальної ситуації).

ВИСНОВКИ

Циркуляційна економіка сьогодні є не просто напрямом економічних досліджень, вона фактично значною мірою формує філософію та політичні погляди багатьох людей у різних країнах. Разом із тим, чіткого визначення поняття циркуляційної економіки сьогодні немає. Крім того, ведуться дискусії відносно її взаємозв'язку з іншими напрямами економічних досліджень, зокрема сталим розвитком, біоекономікою, аграрною економікою. Саме тому вважаємо, актуальним визначення терміна «Парадигма циркуляційної економіки». Нами він визначається як виробнича діяльність, яка базуються на мінімізації залучення нових природних ресурсів у процес виробництва,

водночас з мінімізацією споживання невідновлювальної енергії.

Для оцінки рівня процесів відновлення поживних речовин пропонується коефіцієнт циркулярного відновлення поживних речовин. Апробація даного показника на прикладі України, Польщі та Канади дозволила встановити окремі тенденції та засвідчила практичну його значущість. Встановлено, що рівень циркулярного відтворення азоту в Україні впродовж 1992–2020 рр. істотно скоротився. Головним чинником стало зменшення внесення гною починаючи з 1997 р. Крім того, з 2011 р. зменшилася питома частка азоту, який надходив до ґрунту через біологічну фіксацію. Даний факт пов'язаний зі спрощенням структури посівних площ у багатьох підприємствах та відмовою від галузі тваринництва (що практично унеможливує вирощування багаторічних бобових трав як азотонакопичувачів).

Все це ставить питання щодо стратегії подальшого розвитку сільського господарства загалом та місця держави в цих процесах. Передусім слід відмітити, що в умовах повоєнного відновлення дана проблематика буде мати ще більшу гостроту, через необхідність не просто відновлення якості ґрунтів, а й усунення наслідків військової агресії РФ. З огляду на це, необхідно буде проводити подальші більш ґрунтовні дослідження. Це стосується питання впливу структури сільськогосподарського виробництва на рівень циркулярності економіки, зокрема впливу галузі тваринництва. Крім того, окремого дослідження потребує практика інших країн у розвитку циркулярних моделей бізнесу саме в аграрному секторі. Насамперед це стосується досвіду збереження біорізноманіття в сільському господарстві, підтримки виробництва органічних продуктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Global Resources Outlook. (2019). URL: <https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook-2019>.
2. Meadows, D. H., Meadow, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W. (1972). *The Limits to Growth: a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. Universe Books. URL: <http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>.
3. Pearce, D., & Turner, R. (1991). Economics of natural resources and the environment. *American Journal of Agricultural Economics*, 73, 1242904. DOI: <https://doi.org/10.2307/1242904>.
4. Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A Review on Circular Economy: the Expected Transition to a Balanced Interplay of Environmental and Economic Systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>.
5. Stahel, W. R. (2019). *The circular economy: a user's guide*. Routledge, Taylor & Francis Group. DOI: <https://doi.org/10.4324/978042925920>.
6. International Resource Panel. (2018). Re-defining Value — The Manufacturing Revolution. Remanufacturing, Refurbishment, Repair and Direct Reuse in the Circular Economy. URL: <https://www.resourcepanel.org/reports/re-defining-value-manufacturing-revolution>.
7. Дороніна, І. І. (2020). Екологізація економіки та роль держави: ретроспективний аналіз наукових підходів. *Наукові записки Інституту законодавства Верховної Ради України*, 6, 100–107. DOI: <https://doi.org/10.32886/instzak.2020.06.11>.
8. Geissdoerfer, M., Pieroni, M. P., Pigosso, D. C., & Soufani, K. (2020). Circular business models: A review. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123741. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741>.
9. Asgari, A., & Asgari, R. (2021). How circular economy transforms business models in a transition towards circular ecosystem: the barriers and incentives. *Sustainable Production and Consumption*, 28(5), 566–579. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.06.020>.
10. Pollard, S., Turney, A., Charnley, F., & Webster, K. (2016). The circular economy — a reappraisal of the 'stuff' we love. *Geography*, 101(1), 17–27. DOI: <https://doi.org/10.1080/00167487.2016.12093979>.
11. Garcia-Saravia Ortiz-de-Montellano, C., & Van der Meer, Y. (2022). A Theoretical Framework for Circular Processes and Circular Impacts Through a Comprehensive Review of Indicators. *Glob J. Flex Syst Manag*, 23, 291–314. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40171-022-00300-5>.
12. Girard, G. (2022). Does circular bioeconomy contain singular social science research questions, especially regarding agriculture — industry nexus? *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 3(23), 100030. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100030>.
13. Konietzko, J., Bocken, N., & Hultink, E. (2020). Circular Ecosystem Innovation: An Initial Set Of Principles. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119942. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119942>.
14. Jerome, A., Helander, H., Ljunggren, M., & Janssen, M. (2022). Mapping and testing circular economy product-level indicators: A critical review. *Resources, Con-*

- ervation and Recycling*, 178, 106080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106080>.
15. Helander, H., Petit Boix, A., Leipold, S., & Bringezu, S. (2019). How to monitor environmental pressures of a circular economy: An assessment of indicators. *Journal of Industrial Ecology*, 23, 1278–1291. DOI: <https://doi.org/10.1111/jieec.12924>.
 16. Diakon, R., Kucher, A., & Heldak, M. (Eds.). (2024). *Sustainable development and circular economy: trends, innovations, prospects: scientific monograph*. Riga, Latvia: Baltija Publishing.
 17. Зварич, І. (2017). Циркулярна економіка і глобалізоване управління відходами. *Журнал європейської економіки*, 16(1), 41–57. URL: <https://jeej.wunu.edu.ua/index.php/ukjee/article/view/914>.
 18. Юхнов, Б., Островський, І., & Корсаков, Д. (2022). Аналіз розвитку циркулярної економіки на прикладі застосування інтегральних індексів. *Адаптивне управління: теорія і практика. Серія Економіка*, 13(26). DOI: [https://doi.org/10.33296/2707-0654-13\(26\)-12](https://doi.org/10.33296/2707-0654-13(26)-12).
 19. Ajayi, V. A., & Lateef, A. (2023). Biotechnological valorization of agrowastes for circular bioeconomy: Melon seed shell, groundnut shell and groundnut peel. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 4, 100039. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2023.100039>.
 20. Siddiqui, S., Pleissner, D., Pentjušs, A., Gołaszewski, J., Karwowska, A., Dace, E., ... Smetana, S. (2023). Biological nitrogen recirculation to food protein. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 6, 100056. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2023.100056>.
 21. Зварич, І. Я. (2019). *Глобальна циркулярна економіка: «Економіка ковбоїв» VS «Економіка космічного корабля»: моногр.* Тернопіль: ТНЕУ.
 22. Страпчук, С. І. (2022). *Сталій розвиток аграрних підприємств на засадах циркулярної економіки: моногр.* Харків: ДБТУ; Львів: Вид-во «Новий Світ — 2000».
 23. Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press: Chicago.
 24. Agri-Environmental indicators. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/agriculture/database/agri-environmental-indicators>.

Стаття надійшла до редакції журналу 20.04.2025

СТАН РОДИЮЧОСТІ ҐРУНТІВ ПЕРЕДГІРСЬКОЇ ЗОНИ ЧЕРНІВЕЦЬКОЇ ОБЛ.

М.В. Гунчак¹, Р.П. Паламарчук², В.І. Пасічняк³

¹Чернівецький регіональний центр державної установи
«Інститут охорони ґрунтів України» (м. Чернівці, Україна)
e-mail: chernivtsy_grunt@ukr.net; ORCID: 0000-0002-3521-8531

²Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України» (м. Київ, Україна)
e-mail: info@iogu.gov.ua; ORCID: 0000-0002-5965-1305

³Південно-Західний міжрегіональний центр державної установи
«Інститут охорони ґрунтів України» (с. Агрономічне, Вінницька обл., Україна)
e-mail: vinroduchist@ukr.net; ORCID: 0000-0002-4144-261X

Наведено основні показники родючості ґрунту за результатами проведення агрохімічного обстеження земель сільськогосподарського призначення Передгірської зони Чернівецької обл. у XI турі (2016–2020 рр.). Встановлено, що за кислотністю ґрунтового розчину в Передгірській зоні області переважають слабокислі землі (35,8%) та землі близькі до нейтральних (34,0%). Середньозважений показник $pH_{\text{сол.}}$ — 5,6, що відповідає близькій до нейтральної реакції ґрунтового розчину. За рівнем забезпечення гумусу переважають ґрунти з середнім його вмістом (73,8%), а середньозважений вміст гумусу по Передгірській зоні області становить 2,3%. За вмістом азоту, що легко гідролізується, найбільше земель мають дуже низький (28,3%) та низький його вміст (70,8%). Середньозважений показник вмісту азоту, що легко гідролізується, за звітний період сягає 110,0 мг/кг ґрунту, що відповідає низькій забезпеченості даним елементом. У Передгірській зоні Чернівецької обл. переважають землі з середнім вмістом рухомих сполук фосфору (43,2%), а середньозважений показник вмісту рухомих сполук фосфору сягає 84 мг/кг, що дорівнює середній забезпеченості. За вмістом рухомих сполук калію переважають землі з високим його вмістом (40,9%), а середньозважений показник вмісту рухомих сполук калію становить 122 мг/кг, що відповідає високій забезпеченості даним елементом. Встановлено, що в районах Передгірської зони Чернівецької обл. найбільшу площу займають ґрунти середньої якості (79,1%), а середньозважена оцінка сільськогосподарських угідь Передгірської зони Чернівецької обл. сягає 48. Здійснено порівняння якісної оцінки ґрунтів Передгірської зони Чернівецької обл. за X (2011–2015 рр.) та XI тури (2016–2020 рр.) агрохімічних обстежень. Результатами встановлено, що якісна оцінка стану земель Сторожинецького району істотно покращилася (+13 балів), а якісна оцінка ґрунтів Герцаївського, Вижицького та Глибоцького р-нів підвищилася на 3–6 балів.

Ключові слова: моніторинг, агроекологічне обстеження, кислотність, бал бонітету, якісна оцінка земель.

ВСТУП

Рациональне використання і охорона ґрунтів є важливою проблемою в агросекторі нашої держави. Споживацьке ставлення до землі, недостатнє внесення мінеральних та органічних добрив, недотримання науково обґрунтованих сівозмін сприяє виснаженню та деградації ґрунтів, зниженню їх потенційної родючості [1]. Для здійснення державного контролю за зміною показників еколого-агрохімічного

стану ґрунтів, збереження та відтворення родючості ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення відповідно до Закону України «Про охорону земель» [2] в Україні здійснюється еколого-агрохімічна паспортизація земель сільськогосподарського призначення з періодичністю один раз на 5 років. За результатами досліджень XI туру досліджень (2016–2020 рр.) встановлено агрохімічну та еколого-агрохімічну оцінки ґрунтів Передгірської зони Чернівецької обл.

Дані про еколого-агрохімічний стан ґрунтів дають можливість оцінити потенційну їх родючість, а також розробити науково обґрунтовані заходи щодо раціонального використання ґрунтів [3].

Мета досліджень — обстеження земель сільськогосподарського призначення та здійснення комплексної якісної оцінки агроекологічного стану ґрунтів Передгірської зони Чернівецької обл. за XI тур досліджень (2016–2020 рр.).

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

С.А. Балюк зі співавт. [4] зазначають, що ґрунтові ресурси є основою розвитку аграрного сектору економіки нашої держави та забезпечення стану довкілля. За якістю ґрунтових ресурсів наша країна посідає одне з провідних місць у світі, адже близько 60% ріллі зайнято чорноземними ґрунтами.

О.М. Грищенко та ін. [1] вказують, що родючість ґрунтів завжди була і є вирішальним чинником у життєдіяльності людини. Однак, як свідчать наукові дослідження та практичний досвід, родючість ґрунтів не є сталою величиною, адже змінюється залежно від господарської діяльності та системи землеробства.

С.Ю. Булігін зі співавт. [5] підкреслюють, що оцінка якості земель має як теоретичне, так і практичне значення. Насамперед показники якості земель використовуються в системі моніторингу земель для прогнозу і своєчасного запобігання деградаційним процесам, охорони й раціонального використання земель. По-друге, облік кількості та якості земель, бонітування ґрунтів є складовими Державного земельного кадастру, відомості з якого застосовуються для регулювання земельних відносин, визначення розміру плати за землю й цінності земель у складі природних ресурсів.

За даними А.Д. Балаєва та ін. [6], на сьогодні більшість рослинницької продукції в Україні одержують за рахунок інтенсивного використання родючості ґрунтів.

Сучасний стан земельних ресурсів України викликає занепокоєння, адже на

значних площах родючих ґрунтів поширені процеси деградації земель. Деградація ґрунтів є наслідком застосування інтенсивних технологій їхнього обробітку, недотримання сівозмін із насиченням їх просапними культурами та недосконалої організації взаємовідносин в аграрному секторі [7].

Як зазначають А.М. Ліщук та ін. [8], для досягнення збалансованого розвитку і екологічного зростання сільського господарства необхідно вести збалансоване землекористування, ефективність якого слід оцінювати за розрахунками балансу гумусу та поживних речовин.

Такі вчені, як С.А. Балюк, В.В. Медведєв та ін. [9] вказують, що для розв'язання проблеми відтворення родючості ґрунтів із метою досягнення їх нейтрального рівня деградації Україна повинна мати чітку стратегію охорони ґрунтів, попередження та боротьби з деградацією земель, яка включає ефективне функціонування ґрунтозахисних програм і законів, контроль за їх виконанням, дотримання рекомендованих і впровадження новітніх ґрунтозахисних технологій.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Чернівецьким регіональним центром ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» проведено дослідження ґрунтів Передгірської зони Чернівецької обл. із визначення рН — сольової витяжки, гідролітичної кислотності, суми ввібраних основ, вмісту гумусу, азоту, що легко гідролізується, рухомих сполук фосфору та калію, мікроелементів. Також проведено дослідження з виявлення забруднення важкими металами, пестицидами і радіонуклідами. Дослідження здійснювалися за методами, визначеними Методикою проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення [10]. Зразки ґрунту відбирали з глибини 0–30 см відповідно до ДСТУ 4287:2004 [11]. У них зазначали вміст гумусу за ДСТУ 4289:2004 [12], реакцію ґрунтового середовища за ДСТУ ISO 10390:2007 [13], вміст сполук азоту, що легко гідролізується, за ДСТУ 7863:2015 [14],

рухомих сполук фосфору та калію згідно з ДСТУ 4115-2002 [15].

За період з 2016 по 2020 рр. Чернівецьким регіональним центром ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» було обстежено 56,2 тис. га земель сільськогосподарського призначення Передгірської зони Буковини у Вижицькому, Герцаївському, Глибоцькому та Сторожинецькому р-нах.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Основною характеристикою серед показників родючості ґрунту є реакція ґрунтового розчину. За вирощування сільськогосподарських культур необхідно мати достовірну інформацію про ступінь кислотності ґрунту, оскільки окремі культури для нормального росту і розвитку потребують певних інтервалів рН ґрунту [1].

За результатами досліджень кислотності ґрунтового розчину (рН_{сол.}) обстежені площі Передгірської зони Чернівецької обл. розподіляються так (рис. 1): дуже сильнокислі ґрунти з рН менше 4,0 відсутні, сильнокислих земель із рН 4,1–4,5 – 0,4 тис. га, що становить 0,7% від обстеженої площі земель, середньокислих (рН 4,6–5,0) – 8,1 тис. га (14,4), слабокислих (рН 5,1–5,5) – 20,1 тис. га (35,8), близьких

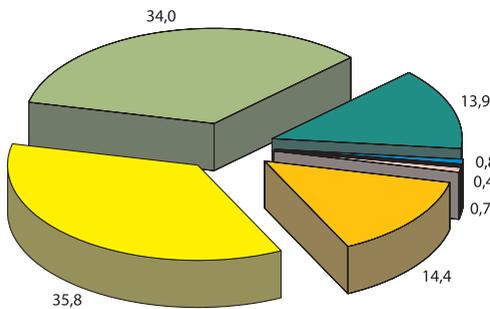


Рис. 1. Розподіл площ обстежених сільськогосподарських угідь Передгірської зони Чернівецької обл. за реакцією ґрунтового розчину, %: ■ – сильнокислі (рН 4,1–4,5); ■ – середньокислі (рН 4,6–5,0); ■ – слабокислі (рН 5,1–5,5); ■ – близькі до нейтральних (рН 5,5–6,0); ■ – нейтральні (рН 6,1–7,0); ■ – слаболужні (рН 7,1–7,5); ■ – середньолужні (рН 7,6–8,0)

до нейтральних (рН 5,6–6,0) – 19,1 тис. га (34,0), нейтральних (рН 6,1–7,0) – 7,8 тис. га (13,9), слаболужних (рН 7,1–7,5) – 0,5 тис. га (0,8) та середньолужних (рН 7,6–8,0) – 0,2 тис. га (0,4%). Середньозважений показник рН_{сол.} у ХІ турі обстежень (2016–2020 рр.) – 5,6, що відповідає близькій до нейтральної реакції ґрунтового розчину.

Порівняно із попереднім туром обстеження середньозважений показник рН збільшився на 0,1 одиницю. Спостерігається зменшення площі сильнокислих ґрунтів на 10,4% та збільшення площі слабо- та середньолужних земель на 0,8%. Сильнокислі землі було виявлено у Сторожинецькому та Вижицькому р-нах, а слабо- та середньолужні – у Сторожинецькому й Герцаївському р-нах.

Одним з основних показників родючості ґрунтів є вміст органічної речовини та її найбільш цінної складової – гумусу. Значення останнього насамперед полягає в тому, що він – єдиний запасний фонд ґрунту щодо азоту, який не входить до складу мінеральних сполук. Із запасом гумусу тісно пов'язані фізико-хімічні, біологічні та агрохімічні властивості ґрунту, його водний і повітряний режими, що в кінцевому результаті впливає на продуктивність сільськогосподарських культур [1; 7].

За досліджуваній період обстежені землі Передгірської зони Чернівецької обл. за вмістом гумусу розподілилися так: із дуже низьким вмістом гумусу – відсутні, із низьким – 11,9 тис. га (21,2%), з середнім – 41,5 тис. га (73,8), із підвищеним – 2,2 тис. га (3,9), з високим – 0,6 тис. га (1,1%), з дуже високим – відсутні. Тому переважають ґрунти із середнім вмістом гумусу (рис. 2).

Середньозважений вміст гумусу по районах Передгірської зони Чернівецької обл. становить 2,3%, що відповідає запасам 69 т на 1 га. Порівняно з попереднім туром обстеження середньозважений вміст гумусу збільшився на 0,1%, адже в Х турі обстежень (2011–2015 рр.) середньозважений вміст гумусу на цій території сягав 2,2%. Незначне зростання вмісту гумусу

може бути пов'язано зі збільшенням обсягів застосування елементів біологізації землеробства, зокрема приорювання сидератів та поживних рослинних решток.

Азот є важливим елементом, який необхідний для життєдіяльності рослин. Він входить до складу білків, ферментів, нуклеїнових кислот, хлорофілу, вітамінів, алкалоїдів та інших сполук. За недостатньої забезпеченості азотом затримується ріст рослин, зменшується розмір асиміляційної поверхні листків та тривалість їх функціонування в активному стані, знижується урожай і погіршується його якість [3].

За вмістом азоту, що легко гідролізується, площа обстежених земель Передгірської зони Чернівецької обл. розподіляється так: земель із дуже низьким умістом азоту 15,9 тис. га (28,3%), із низьким 39,8 тис. га (70,8) та із середнім 0,5 тис. га (0,9%) (рис. 3). Середньозважений показник умісту азоту, що легко гідролізується, за звітний період становить 110,0 мг/кг ґрунту. Порівняно з попереднім туром обстеження середньозважений показник умісту азоту, що легко гідролізується, за звітний період збільшився на 0,4 мг/кг.

Фосфорний режим ґрунту найбільше впливає на ефективну родючість і дію добрив. Рівень забезпечення ґрунту рухомими сполуками фосфору є важливим чинником одержання високих урожаїв. Від рівня засвоєння цього елементу живлення залежать всі життєві функції рослин і забезпечується ефективне використання інших елементів живлення [3].

За результатами агрохімічного обстеження землі сільськогосподарського призначення Передгірської зони Чернівецької обл. за вмістом рухомих сполук фосфору розподіляються так: із дуже низьким умістом – 1,7 тис. га (3,1%), із низьким умістом – 14,3 тис. га (23,8), із середнім – 24,3 тис. га (43,2), з підвищенням – 10,1 тис. га (18,0), з високим – 5,8 тис. га (10,3), з дуже високим – 0,9 тис. га (1,6%) (рис. 4.) Середньозважений показник умісту рухомих сполук фосфору сягає 84 мг/кг. Порівняно з попереднім туром обстеження середньозважений показник умісту фосфору збіль-

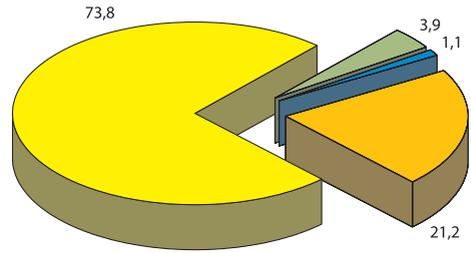


Рис. 2. Розподіл площ обстежених сільськогосподарських угідь Передгірської зони Чернівецької обл. за вмістом гумусу, %: ■ – низький (1,1–2,0%); ■ – середній (2,1–3,0%); ■ – підвищений (3,1–4,0%); ■ – високий (4,1–5,0%)

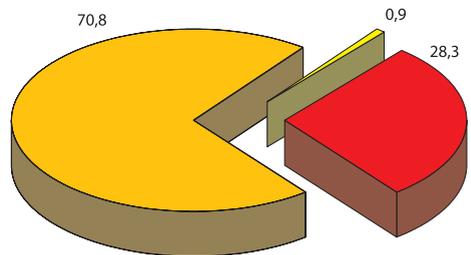


Рис. 3. Розподіл площ обстежених сільськогосподарських угідь Передгірської зони Чернівецької обл. за вмістом азоту, що легко гідролізується, %: ■ – дуже низький (<101 мг/кг); ■ – низький (101–150 мг/кг); ■ – середній (151–200 мг/кг)

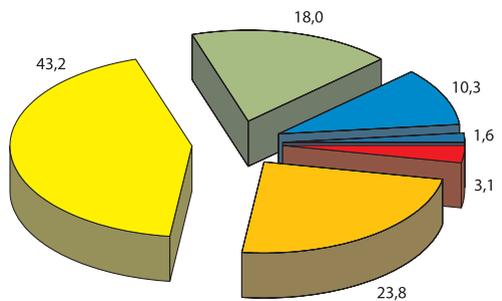


Рис. 4. Розподіл площ обстежених сільськогосподарських угідь Передгірської зони Чернівецької обл. за вмістом рухомих сполук фосфору, %: ■ – дуже низький (<21 мг/кг); ■ – низький (21–50 мг/кг); ■ – середній (51–100 мг/кг); ■ – підвищений (101–150 мг/кг); ■ – високий (151–200 мг/кг); ■ – дуже високий (>200 мг/кг)

шився на 8,0 мг/кг, що зумовлено посиленням норм внесення фосфорних добрив.

Калій, як елемент живлення, є одним із найактивніших елементів для розвитку рослин. Калій не лише впливає на стійкість рослин до посухи, низьких температур, шкідників та хвороб, але є важливим елементом для оптимального росту рослин, для отримання високих урожаїв та підтримання високого рівня родючості ґрунту [1; 3].

За результатами агрохімічного обстеження землі сільськогосподарського призначення Передгірської зони Чернівецької обл. за вмістом рухомих сполук калію розподіляються так: із дуже низьким умістом та низьким умістом – відсутні. Із середнім умістом – 5,3 тис. га (9,4%), з підвищеним – 8,8 тис. га (15,7), з високим – 23,0 тис. га (40,9), з дуже високим – 19,4 тис. га (34,0%) (рис. 5). Середньозважений показник умісту рухомих сполук калію становить 122 мг/кг. Порівняно з попереднім туром обстеження середньозважений показник умісту калію збільшився на 18,3 мг/кг, що зумовлено посиленням норм внесення калійних добрив.

За рівнями забезпечення ґрунтів Передгірської зони області рухомими сполуками сірки обстежені землі розподілилися так: із дуже низьким умістом – 3,4 тис. га

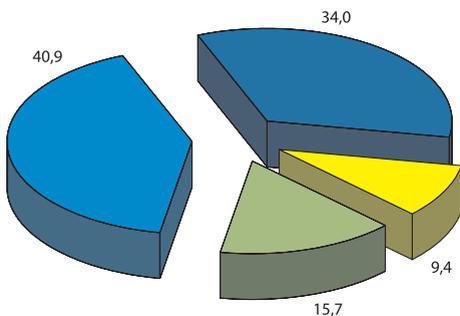


Рис. 5. Розподіл площ обстежених сільськогосподарських угідь Передгірської зони Чернівецької обл. за вмістом рухомих сполук калію, %: ■ – середній (41–80 мг/кг); ■ – підвищений (81–120 мг/кг); ■ – високій (121–180 мг/кг); ■ – дуже високій (>180 мг/кг)

(6,1%), із низьким умістом – 13,6 тис. га (24,3), із середнім – 13,4 тис. га (23,7), з підвищеним – 10,0 тис. га (17,8), з високим – 9,6 тис. га (17,1), з дуже високим – 6,2 тис. га (11,0%). Середньозважений показник умісту рухомих сполук сірки сягає 9,8 мг/кг, що відповідає підвищеному рівню забезпеченості.

Дослідженнями встановлено, що за вмістом рухомих сполук бору обстежені площі Передгірської зони Чернівецької обл. мають високий – 0,2 тис. га (0,3%) та дуже високий його уміст – 56,0 тис. га (99,7%). Середньозважений показник умісту рухомих сполук бору становить 1,3 мг/кг, що свідчить про дуже високу забезпеченість.

За агрохімічного обстеження земель сільськогосподарського призначення встановлено, що за вмістом рухомих сполук марганцю обстежені площі Передгірської зони Чернівецької обл. розподіляються так: із дуже низьким умістом – 1,9 тис. га (3,4%), із низьким умістом – 0,4 тис. га (0,7), із середнім – 3,9 тис. га (7,0), з підвищеним – 21,9 тис. га (39,0), з високим – 10,4 тис. га (18,5), з дуже високим – 17,7 тис. га (31,4%). Середньозважений показник умісту рухомих сполук марганцю становить 17,9 мг/кг, що відповідає високому рівню забезпеченості.

За вмістом рухомих сполук міді обстежені землі сільськогосподарського призначення Передгірської зони області розподіляються так: із дуже низьким умістом – 0,9 тис. га (1,6%), із низьким умістом – 1,6 тис. га (2,8), із середнім – 2,4 тис. га (4,1), з підвищеним – 5,7 тис. га (10,2), з високим – 14,5 тис. га (26,0), з дуже високим – 31,1 тис. га (55,3%). Середньозважений показник умісту рухомих сполук міді сягає 0,55 мг/кг, що вказує на дуже високий рівень забезпеченості.

Агрохімічними обстеженнями території Передгірської зони Чернівецької області виявлено, що за вмістом рухомих сполук цинку землі розподіляються так: із дуже низьким умістом – 47,8 тис. га (85,0%), із низьким умістом – 3,8 тис. га (6,8), із середнім – 1,4 тис. га (2,5), з підвищеним – 1,5 тис. га (2,7), з високим – 1,7 тис. га

(3,0%). Середньозважений показник умісту рухомих сполук цинку становить 0,9 мг/кг, що відповідає дуже низькому рівню забезпеченості цим мікроелементом.

За умістом рухомих сполук кобальту обстежені землі сільськогосподарського призначення Передгірської зони області розподіляються так: із дуже низьким умістом – 5,8 тис. га (10,3%), із низьким умістом – 3,1 тис. га (5,5), із середнім – 2,0 тис. га (3,6), з підвищеним – 3,4 тис. га (6,0), з високим – 9,8 тис. га (17,4), з дуже високим – 32,1 тис. га (57,2%). Середньозважений показник умісту рухомих сполук кобальту сягає 0,61 мг/кг, що свідчить про дуже високий рівень забезпеченості.

За агрохімічного обстеження земель сільськогосподарського призначення Передгірської зони Чернівецької обл. встановлено, що за умістом рухомих сполук молібдену обстежені площі розподіляються так: із дуже низьким умістом – 0,8 тис. га (1,3%), із низьким умістом – 8,7 тис. га (15,5), із середнім – 17,6 тис. га (31,4), з підвищеним – 17,9 тис. га (31,9), з високим – 7,4 тис. га (13,1), з дуже високим – 3,8 тис. га (6,8%). Середньозважений показник умісту рухомих сполук молібдену становить 0,13 мг/кг, що відповідає підвищеному рівню забезпеченості мікроелементом.

Чернівецьким регіональним центром ДУ «Держґрунтохорона» впродовж 2016–2020 рр. у межах програми агроекологічного обстеження земель сільськогосподарського призначення проведено уточнення радіаційної ситуації території Передгірської зони Чернівецької обл. на площі 56,2 тис. га. З цією метою було відібрано 461 ґрунтову пробу, в яких визначили активність цезію-137 методом гамма-спектрометрії та у 71 пробі виявляли активність стронцію-90 радіохімічним методом. Питома активність цезію-137 коливається від 5,20 до 56,2 Бк/кг ґрунту. Середня щільність забруднення становить 4,2 кБк/м² (0,11 Кі/км²). Питома активність стронцію-90 перебуває у межах від 2,73 до 4,25 Бк/кг ґрунту. Середня щільність забруднення стронцієм-90 – 0,80 кБк/м² (0,022 Кі/км²).

Також упродовж звітного періоду було відібрано та досліджено на вміст хлорорганічних пестицидів 174 проби ґрунту. За проведення досліджень із визначення залишків ДДТ з метаболітами та ГХЦГ із ізомерами, їх не було виявлено.

Також значну увагу приділяли визначенню умісту солей важких металів у ґрунті на землях сільськогосподарського призначення Передгірської зони Чернівецької обл. Площа земель із слабким рівнем забруднення рухомими сполуками міді сягала 7,38 тис. га, тобто 13,1% від обстеженої площі.

За рівнями забруднення рухомими сполуками свинцю обстежені землі розподілилися так: 14,8 тис. га (26,3%) мають слабкий рівень забруднення, 11,0 тис. га (19,6) – помірний рівень, а 3,4 тис. га (6,1%) – середній рівень. Загальна площа земель із різним ступенем забруднення рухомими сполуками свинцю по Передгірській зоні області становить 29,2 тис. га, тобто 52,0% обстеженої площі.

За рівнями забруднення рухомими сполуками кадмію землі сільськогосподарського призначення розподілилися так: 15,3 тис. га (27,2%) мають слабкий рівень забруднення, 16,6 тис. га (25,9) – помірний рівень та лише 0,3 тис. га (0,5%) середній рівень. Загальна площа земель Передгірської зони області із різним ступенем забруднення рухомими сполуками кадмію 32,2 тис. га, або 57,3% обстеженої площі.

Для отримання високих урожаїв сільськогосподарських культур та збереження родючості ґрунтів на належному рівні необхідно володіти достовірною інформацією про еколого-агрохімічний стан, якісну оцінку ґрунтів. Інформація про еколого-агрохімічний стан ґрунту включає сукупність агрофізичних, фізико-хімічних і агрохімічних показників, а також враховує забрудненість ґрунтового покриву важкими металами, радіонуклідами та пестицидами [1; 3]. Тому, було встановлено агрохімічну та еколого-агрохімічну оцінку ґрунтів Передгірської зони Чернівецької обл. за XI тур досліджень (2016–2020 рр.).

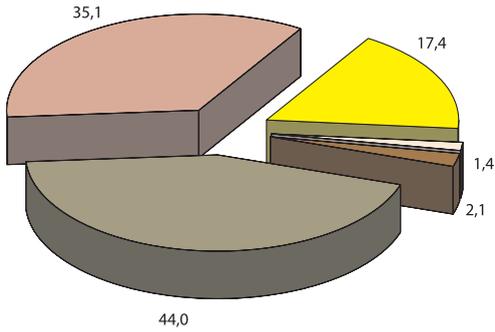


Рис. 6. Розподіл площ обстежених сільськогосподарських угідь Передгірської зони Чернівецької обл. за агроекологічними балами якості, %: ■ – IV високий; ■ – V середній; ■ – VI середній; ■ – VII низький; ■ – VIII низький

Згідно з розподілом за шкалою якості (рис. 6) лише 1,2 тис. га (2,1%) обстежених земель сільськогосподарського призначення Передгірської зони Чернівецької обл. відносяться до IV класу земель високої якості. Це ґрунти, що добре забезпечені елементами живлення і продуктивною вологою, мають сприятливі фізико-хімічні й агрофізичні властивості. Найбільшу площу займають ґрунти середньої якості: до V класу якості відносяться 24,7 тис. га (44,0%) та до VI класу якості належать 19,7 тис. га (35,1%). Цим землям харак-

терна помірна забезпеченість елементами живлення і продуктивною вологою. Серед ґрунтів низької якості 9,8 тис. га (17,4%) належать до VII класу якості ґрунтів, а 0,8 тис. га (1,4%) – до VIII класу якості. Ці землі мають низьку забезпеченість елементами живлення, незадовільну реакцію ґрунтового розчину, водно-повітряний і тепловий режими. Середній бал по районах Передгірської зони Чернівецької обл. 48, що відповідає VI класу земель середньої якості. Порівняно з попереднім туром еколого-агрохімічного обстеження середній бал по районах Передгірської зони області збільшився від 41 до 48, що пов'язано із посиленням норм внесення фосфорних та калійних добрив та підвищенням обсягів застосування елементів біологізації землеробства.

Згідно зі шкалою агроекологічної оцінки якості сільськогосподарських земель за розрізом районів Передгірської зони Чернівецької обл. ґрунти Сторожинецького р-ну розподілились так: 5,9 тис. га (32,4%) відносяться до VII групи низької якості; 8,9 тис. га (48,9%) – до VI класу середньої якості та 3,4 тис. га (18,7%) – до V класу середньої якості. Середній бал по району – 43 (рис. 7).

Землі Глибоцького р-ну розподілились так: 0,3 тис. га (1,9%) обстежених ґрун-

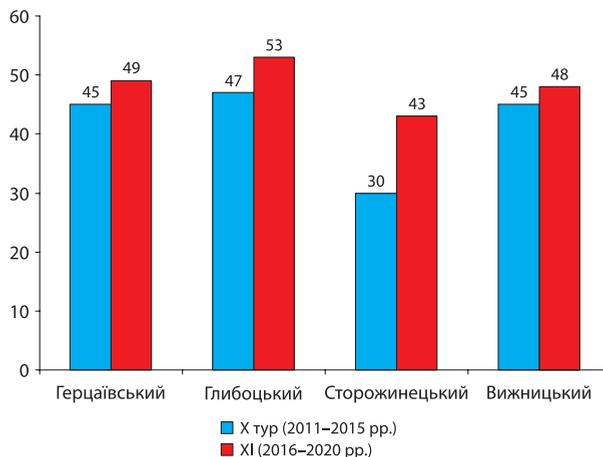


Рис. 7. Динаміка якісної оцінки сільськогосподарських угідь Передгірської зони Чернівецької обл. за X та XI тури агрохімічних обстежень

тів належать до VII класу низької якості; 3,1 тис. га (19,5) — до VI класу середньої якості; 11,9 тис. га (74,8) — до V класу середньої якості і 0,6 тис. га (3,8%) — до IV класу високої якості земель. Середній бал по району — 53.

Серед обстежених земель Герцаївського р-ну 0,8 тис. га (8,7%) відносяться до VIII класу низької якості; 1,5 тис. га (16,3) — до VII класу низької якості; 1,9 тис. га (20,7) — до VI класу середньої якості; 4,4 тис. га (47,8) — до V класу середньої якості та 0,6 тис. га (6,5%) — до IV класу високої якості земель. Середній бал по району — 49.

У Вижницькому р-ні 2,1 тис. га (16,3%) належать до VII класу низької якості; 5,8 тис. га (44,9) — до VI класу середньої якості та 5,0 тис. га (38,8%) — до V класу середньої якості. Середній бал по району — 48.

Результати порівняння якісної оцінки ґрунтів Передгірської зони Чернівецької обл. за X (2011–2015 рр.) та XI тури (2016–2020 рр.) агрохімічних обстежень свідчать (див. *рис. 7*), що у всіх районах Передгірської зони Чернівецької обл. покращилася якісна оцінка стану земель. Істотно збільшилася якісна оцінка стану земель Сторожинецького р-ну (+13 балів) та на 3–6 балів підвищилася якісна оцінка ґрунтів Герцаївського, Вижницького та Глибоцького р-нів.

ВИСНОВКИ

Результатами агрохімічних обстежень земель сільськогосподарського призначення Передгірської зони Чернівецької обл.

встановлено, що за кислотністю ґрунтового розчину переважають землі слабокислі (35,8%) та близькі до нейтральних (34,0%). За рівнем забезпечення гумусу превалюють ґрунти з середнім його вмістом (73,8%) за середньозваженого показника 2,3%. За вмістом азоту, що легко гідролізується, найбільше земель мають дуже низький (28,3%) та низький його вміст (70,8%), а середньозважений показник забезпеченості азотом становить 110,0 мг/кг. У Передгірській зоні Чернівецької обл. переважають землі з середнім вмістом рухомих сполук фосфору (43,2%), а середньозважений вміст цього елемента сягає 84 мг/кг ґрунту. За вмістом рухомих сполук калію переважають землі з високим його вмістом (40,9%) за середньозваженого показника 122 мг/кг ґрунту. Ґрунти Передгірської зони Чернівецької обл. на дуже низькому рівні забезпечені цинком, мають підвищений рівень забезпеченості сіркою та молібденом, високий вміст марганцю та дуже високий вміст бору, міді та кобальту. Виявлено, що в Передгірській зоні Чернівецької обл. найбільшу площу займають ґрунти середньої якості: землі V класу якості (44,0%) та VI класу якості (35,1%). В середньому сільськогосподарські угіддя Передгірської зони Чернівецької обл. за шкалою агроекологічної оцінки мають 48 балів, що відповідає VI класу земель середньої якості. Результати порівняння якісної оцінки ґрунтів Передгірській зоні Чернівецької обл. свідчать, що у всіх районах Передгірської зони Чернівецької обл. покращилася якісна оцінка стану земель порівняно з попереднім туром агрохімічних обстежень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грищенко, О. М., Запасний, В. С., Ярмоленко, Є. В., & Шило, Л. Г. (2019). Динаміка родючості ґрунтів Переяслав-Хмельницького району Київської області. *Агроекологічний журнал*, 3, 35–41. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2019.183469>.
2. Про охорону земель. Закон України № 962-IV. (2003). (Україна). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text>.
3. Зайцев, Ю. О., Гунчак, М. В., & Романова, С. А. (2022). Стан родючості ґрунтів Чернівецької області. *Агроекологічний журнал*, 4, 66–75. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2022.273250>.
4. Балюк, С. А., Мірошниченко, М. М., & Медведєв, В. В. (2018). Наукові засади сталого управління ґрунтовими ресурсами України. *Вісник аграрної науки*, 11, 5–12. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-01>.
5. Булигін, С. Ю., Вітвіцький, С. В., Кучер, Л. І., & Вітвіцька, О. І. (2020). Концепція оцінки якості та охорони земель в Україні. *Рослинництво та ґрунтознавство*, 11(2), 30–38. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/agr2020.02.030>.

6. Балаєв, А. Д., Ковальчук, О. П., Гаврилюк, М. В., & Стопа, В. П. (2011). Родючість ґрунтів Лісостепу України за різної інтенсивності їх використання. *Наукові праці*, 140(152), 63–65. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchdue_2011_152_140_16.
7. Бережнюк, Є. М., Бережнюк, М. Ф., & Іваніна, Д. А. (2020). Оцінка екологічної стійкості сірих лісових ґрунтів за різного використання. *Рослинництво та ґрунтознавство*, 11(1), 52–61. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/agr2020.01.052>.
8. Лішук, А. М., Драга, М. В., & Городиська, І. М. (2020). Оцінка стану ґрунтів зони Степу України за екологічними критеріями для ведення органічного виробництва. *Агроекологічний журнал*, 1, 51–57. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2020.201270>.
9. Балюк, С. А., Медведєв, В. В., Воротинцева, Л. І., & Шимель, В. В. (2017). Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня. *Вісник аграрної науки*, 8, 5–11. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-01>.
10. Яцук, І. П., & Балюка, С. А. (Ред.). (2019). *Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення* (2-ге вид.). Київ: Вік-Принт.
11. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. (2005). [Чинний від 2005-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України.
12. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. (2005). [Чинний від 2004-04-30]. Київ: Держспоживстандарт України.
13. ДСТУ ISO 10390:2007. Якість ґрунту. Визначення рН. (2009). [Чинний від 2009-10-01]. Київ: Держспоживстандарт України.
14. ДСТУ 7863:2015. Визначення легкогідролізованого азоту методом Корнфілда. Якість ґрунту. (2016). [Чинний від 2015-06-22]. Київ: Держспоживстандарт України.
15. ДСТУ 4115-2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова. (2003). [Чинний від 2002-06-27]. Київ: Держспоживстандарт України.

Стаття надійшла до редакції журналу 25.01.2025

МІКРОБНІ ДОБРИВА ТА ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У РОСЛИННИЦТВІ

А.С. Левішко, П.М. Маменко

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

e-mail: alodua2@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4037-1730

e-mail: p_tamlenko@ukr.net; ORCID: 0009-0001-9945-8462

*Біодобрива є найпоширенішою категорією біопродуктів на сільськогосподарському ринку, попит на яку з кожним роком постійно зростає. Застосування біологічних засобів удобрення та захисту рослин вважається ознакою високорозвинутої економіки країн світу. У статті розглядаються основні механізми дії мікробних добрив та чинники, що впливають на їх ефективність у сільському господарстві. Описано біодобрива в класичному розумінні, тобто як субстрат, що містить живі клітини мікроорганізмів або/і продукти їх метаболізму. За даними ринку, найбільшу частку серед таких препаратів посідають азотфіксатори (близько 79 %) та фосфатмобілізатори (близько 15 %). Ці цифри базуються на аналітичних звітах міжнародних дослідницьких агентств і галузевих оглядах ринку. Особливу увагу приділено симбіотичним азотфіксаторам роду *Rhizobium*, які утворюють бульбочки на коренях бобових. Розкрито механізми регуляції симбіозу з боку рослин-господарів, зокрема систем зворотного зв'язку, які дають змогу контролювати формування бульбочок на коренях, залежно від умов живлення. Показано, що надмірне внесення мінерального азоту може повністю пригнічувати симбіоз, навіть за наявності ефективного біопрепарату. Окреслено значення зовнішніх екологічних чинників вологості, рН, температури та типу ґрунту для активності ризобій. Розглянуто агрономічні переваги несимбіотичних азотфіксувальних бактерій (*Azotobacter*, *Azospirillum* та ін.) як альтернативи традиційним джерелам азоту для культур, що не вступають у симбіоз із симбіотичними мікроорганізмами (ризобіями). Зокрема, описано їхню здатність до продукування екзополісахаридів, фітогормонів та біологічно активних речовин, які покращують структуру ґрунту та підвищують стійкість рослин до абіотичних і біотичних стресів. Окрему увагу приділено фосфатмобілізувальним мікроорганізмам і механізмам солюбілізації фосфатів, а також мобілізації калію та заліза. Описано дію сидерофорів, які поліпшують біодоступність мікроелементів і сприяють детоксикації ґрунтів від важких металів. Продемонстровано, що завдяки складним та різноманітним взаємодіям у мікробіомі ґрунту, мікроорганізми мають ключове значення у покращанні доступності та засвоєнні поживних речовин рослинами. Наведено чинники, що визначають ефективність мікробних добрив, означено поширені помилки за їх застосування та надано рекомендації щодо зберігання якості препаратів на тривалий час.*

Ключові слова: біопрепарати, азотфіксатори, фосфатмобілізатори, біопестициди, екологічні чинники.

ВСТУП

Ґрунти України є найціннішим ресурсом країни, адже сільське господарство дає найбільший внесок в її економічний розвиток та задовольняє основні потреби суспільства. Воно є однією з найпотужніших галузей економіки або господарства та важливим джерелом ВВП, забезпечуючи робочі місця для працівників різного рівня кваліфікації, і використовує значну площу земель країни [1].

Слід відмітити, що на сьогодні в Україні стан сільськогосподарських угідь, серйозно страждає і продовжує потерпати від активних воєнних дій та застосування різних видів зброї, що є також і великою екологічною проблемою. У зв'язку із воєнними діями, що відбуваються на всій території України здійснюється постійний викид неосаяної кількості різноманітних токсичних речовин. Вони мають критично негативний вплив на всі живі об'єкти навколишнього середовища, та передусім по-

гіршуючи мікробіологічні показники ґрунту і відповідно знижуючи родючість ґрунту [2]. Насамперед відбувається вплив на мікробіоту ґрунту, що призводить до змін у складі найважливіших еколого-трофічних груп мікроорганізмів [2; 3].

Загалом, мікробні угруповання постійно адаптуються до змін навколишнього середовища і тому є чутливими показниками стану ґрунту. Внаслідок впливу токсичних речовин, часто відбувається загибель корисних мікроорганізмів та інтенсивний розвиток нових агресивних патогенних видів. Все це може призвести до величезних збитків від втрат урожаїв. Однак, також треба не забувати, що не лише в цьому існує загроза для ґрунтів. Так, платою за непомірне використання інтенсивних агротехнологій стало безпрецедентне погіршення глобальної екологічної ситуації: забруднення навколишнього середовища (зокрема й біозабруднення у вигляді зростання кількості патогенів та шкідників), втрата природної родючості ґрунтів, широко відмічається тенденція до зникнення певних груп мікроорганізмів та збільшення їх шкідливих видів, зниження біорізноманіття природних екосистем та як результат різке погіршення умов життя населення багатьох країн світу. Зрозуміло, що досягнення біобезпеки має здійснюватися із дотриманням принципу застереження та запобігання заподіяння екологічної шкоди. Тому, дедалі більше уваги відводиться розвитку екологічно стійких сільськогосподарських систем, де продуктивність рослин і тварин забезпечується використанням їх біологічних можливостей, за мінімального застосування агрохімікатів, як-от мінеральні добрива, пестициди тощо. Такий перехід від інтенсивного до екологічно стійкого землеробства, в якому продуктивність рослин гарантується використанням біопрепаратів за мінімального використання екологічно небезпечних агрохімікатів, отримує дедалі більшу поширеність у всьому світі [4; 5].

Відомо, що рослини живляться мінеральними речовинами з ґрунту за допомогою діяльності мікроорганізмів, які існують

у їх ризосфері. Найбільш вивчені механізми стимулювання росту рослин бактеріями включають забезпечення рослин поживними речовинами, які є дефіцитними або важкодоступними, як-от азот, фосфор, калій, залізо. Багато ґрунтів сільськогосподарського призначення не мають достатньої кількості одного або більше цих елементів, і тому не може реалізуватись потенціал росту рослин. Щоб усунути цю проблему та отримати високі врожаї, фермери стають дедалі більш залежними від хімічних джерел даних елементів. Окрім того, що хімічні добрива є досить високовартісними, їх виробництво вимагає використання невідновлювальних джерел — нафти та природного газу, що негативно впливає як на людство, так і на навколишнє середовище загалом [5; 6]. На противагу цьому, мікробні продукти мають величезне значення як інструменти сталого рослинництва, особливо внаслідок зміни клімату, що частково спричинена й штучними добривами. Незважаючи на зростаючий інтерес до біопрепаратів, їх потенціал ще не повністю досліджений і використання в багатьох країнах світу знаходиться в початковому стані [7]. Існує потреба пролити світло на минулі, поточні та майбутні перспективи біодобрив, щоб розкрити їх потенціал та покращити розуміння їх особливостей.

Тому, **метою нашої роботи** було висвітлити питання умов застосування функціонально різноманітних біодобрив мікробного походження в рослинництві, що прокладе шлях до їх більш ширшого використання.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації (FAO), оціночна чисельність населення світу на 2025 р. становитиме майже $8,5 \times 10^9$ мешканців. Таке збільшення неминуче вимагатиме значного додаткового сільськогосподарського виробництва $\sim 2,4 \times 10^9$ т/рік. У той самий час сільське господарство стикається з декількома неочікуваними екологічними проблемами, які особливо гострі в країнах

із низьким рівнем доходу, оскільки сільське господарство є домінантною частиною їхньої економіки. Нестача їжі та води може призвести до подальших заворушень та проблем. Зазвичай вважається, що посилення сільськогосподарського виробництва має ґрунтуватися не на збільшенні орних площ, а скоріше на посиленні виробництва на існуючих сільськогосподарських угіддях за рахунок підвищення продуктивності культур. І саме тут пошук альтернативних рішень для сільського господарства спонукав багатьох дослідників поглянути по-новому на сферу агрономічно корисних мікроорганізмів [5; 6; 8]. Це стало поштовхом до швидкого зростання виробництва біодобрив, біопестицидів та інших препаратів на основі мікробів. Ці мікроорганізми загалом представлені різноманітними їх природними групами. Агрономічно корисні мікробні популяції включають бактерії, ціанобактерії чи гриби, що сприяють розвитку рослин, забезпечують рослини важкодоступними елементами або пригнічують хвороби рослин, ендofіти, що підвищують стійкість до стресів, мікроорганізми-біодеструктори та ін. [5; 8; 9].

З огляду на властивості мікроорганізмів, які є основою певного препарату, біопрепарати містять у собі — біодобрива, біопестициди або регулятори росту рослин. На сьогодні всі ці категорії біопрепаратів впевнено посіли своє місце на аграрному ринку та необхідна їх кількість із кожним роком неупинно збільшується. Такий приріст обумовлений переважно збільшеними площами органічних сільськогосподарських угідь, а також широким визнанням біопрепаратів серед фермерів. Розмір світового ринку лише біодобрив досягнув 2,70 млрд дол. США в 2024 р. та очікується, що стане 4,78 млрд дол. США до 2029 р., зростаючи на 12,09% в рік. На ринку біодобрив існують також дані щодо прогнозованого їх приросту, відштовхуючись від культур мікроорганізмів-продуцентів, яке безпосередньо має зв'язок із функціоналом препаратів, в основі яких вони знаходяться. Так, на частку азотфіксаторів припадає близько 79% світового попиту, а частка

фосфатмобілізаторів становить 15%. Існує низка компаній-виробників, які очолюють світовий ринок біопрепаратів, наприклад, Novozymes (Данія), International Panacea Limited (Індія), Symborg (Іспанія), Kiwa Biotech (Китай), Mapleton Agribiotech (Австралія), Lallemand Inc. (Канада) та Rizobacter Argentina S.A. (Аргентина) [10; 11]. Провідні агрохімічні компанії, як-от BASF, Bayer та Syngenta останніми роками також активно включають у своє портфоліо біологічні препарати на основі мікроорганізмів, що лише підтверджує дедалі шоразу більший на них попит.

Водночас, застосування мікробних композицій зазвичай вважається сучасним і новим біотехнологічним підходом у аграрному секторі, інокуляція сільськогосподарських культур ефективними мікроорганізмами для підвищення врожайності є столітньою практикою. Загалом, біопрепарати для сільського господарства на основі мікроорганізмів використовуються у комерційних цілях понад 120 років. Перші спроби створення ризобактеріальних препаратів відносяться до кінця XVIII ст., коли французький вчений Жан-Батіст Буссінго (1801–1887 рр.) визнав, що ріст рослин пропорційний кількості азоту. Пізніше це спостереження пов'язано з відновленням N_2 до NH_4^+ , і тому виготовлено перше комерційне біодобриво Nitragin® на основі бактерій роду *Rhizobium*. Через суперечливу ефективність біопрепаратів порівняно з мінеральними добривами застосування біодобрив сповільнилося, але поживалося після наступних десятиліть досліджень, які дали обнадійливі результати з використанням *Pseudomonas* spp., *Azotobacter* та *Bacillus* spp. Перший препарат для стимуляції росту злаків «Alinite» на основі *B. ellenbachensis* створено та запроваджено у Німеччині. Так, комерціалізація біопрепаратів поступово поширилася в усьому світі. З тих пір розроблено багато біодобрив, а також були вдалі спроби створити бактеріальні препарати для удобрення небобових культур [7]. Актуальність цього питання не згасає, адже кількість відповідних препаратів постійно зростає, попри

зусилля таких науковців, як А.А. Бунас, Ү.М. Adal, В.Н. Aloo, S. Timmusk та ін. [5; 7; 8; 10] спрямовані на його популяризацію та роз'яснення. На сьогодні зареєстровано близько 150 мікробних штамів, які використовуються у сільському господарстві. Американське товариство мікробіологів висловило думку, що саме мікроорганізми стануть результативним рішенням для стійкого збільшення екологічного сільськогосподарського виробництва [6]. І безумовно, саме мікроорганізми, будуть відігравати провідну роль у революційних підходах до ведення сільського господарства впродовж наступних десятиліть, щоб допомогти задовольнити потреби щоразу збільшення кількості населення. Використання саме біопрепаратів є важливою стратегією стійкого сільського господарства, що дасть можливість зменшити екологічні проблеми за рахунок зниження застосування хімічних добрив.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Варто відзначити, що біопрепарати можуть бути як на основі живих культур мікроорганізмів, так і на основі лише продуктів їх життєдіяльності (фітогормони, речовини антибіотичної дії, ферменти тощо). У класичному розумінні біопрепарат має містити в собі живі клітини мікроорганізмів. Для ефективної інокуляції, насіння або коренів рослин, біологічні препарати на основі живих мікроорганізмів мають володіти такими властивостями: 1) бути здатними колонізувати поверхню кореня (або вступати в симбіотичні, ендоефітні чи асоціативні відносини); 2) виживати, розмножуватися та конкурувати з іншою мікробіотою принаймні впродовж часу, необхідного для стимуляції/захисту росту рослин і 3) сприяти росту рослин [5–9].

Вплив корисних мікроорганізмів на розвиток рослин може бути прямим — через механізми забезпечення поживними елементами (біодобрива) або регуляцію метаболізму (регулятори росту) та опосередкованим — шляхом захисту від збудників хвороб, шкідників (біопестициди)

або підвищення ефективності власних механізмів захисту рослин (модулятори стресостійкості). Механізми, за допомогою яких мікроорганізми стимулюють ріст рослин знаходяться під контролем генетичних процесів. Окрім того, у більшості вивчених випадків, одні й ті самі мікроби володіють кількома властивостями, зокрема й біологічного контролю [5–8; 10–13].

Для ефективного та безпечного використання біологічних препаратів потрібно чітко розуміти, якого типу препарат необхідний для вирішення того чи іншого типу проблем. Тому, нижче наведено коротку характеристику основних механізмів сприяння росту і розвитку рослин корисними мікроорганізмами.

Найвивченіші механізми стимулювання росту рослин бактеріями включають забезпечення рослин поживними речовинами, які є дефіцитними або важкодоступними, як-от азот, фосфор, калій, залізо. Ці специфічні ґрунтові мікроорганізми здатні замінити використання значної частини агрохімікатів і завдяки синтезованими ними біологічно активними речовинами комплексно збільшують урожайність сільськогосподарських культур та покращують її якість.

Фіксація азоту. Впродовж багатьох років здатність ґрунтових мікроорганізмів до біологічної фіксації молекулярного азоту, є одним з найважливіших питань біології. Здатність відновлювати N_2 до NH_4^+ виявлено у представників усіх основних груп прокариот — еубактерій, ціанобактерій, актиноміцетів та архебактерій. Мікроорганізми, які перетворюють атмосферний N_2 в доступну для споживання рослинами форму, шляхом біологічної фіксації називаються діазотрофами або азотфіксувальними мікроорганізмами, і для забезпечення цього процесу використовують складну систему ферментів, відому як нітрогеназний комплекс. Мікробіологічні добрива, що містять азотфіксувальні бактерії, вносяться в ґрунт або на насіння. Після потрапляння в сприятливе середовище бактерії починають активно розмножуватися і колонізувати корені рослин. Завдяки

симбіотичним відносинам із рослинами, бактерії отримують від них вуглеводи та інші органічні речовини, а натомість забезпечують рослини доступним азотом. Азот, фіксований біологічним шляхом, менш схильний до вилуговування, сублімації та денітрифікації, оскільки ця хімічна речовина використовується на місці і тому вважається важливим біологічним процесом, який робить свій внесок у сталий розвиток сільського господарства. У більшості сільськогосподарських районів урожайність визначається вмістом азоту в ґрунті. Однак, він пов'язаний із гумусом і лише частину його містять свіжі рослинні залишки або внесені органічні залишки, які швидко мінералізуються із вивільненням аміаку. Біологічна фіксація азоту є економічно вигідною та екологічно безпечною альтернативою хімічним добривам [5; 10; 12–16].

У процесі трансформації азоту в ґрунті основна роль відведена мікроорганізмам, що беруть участь в амоніфікації, нітрифікації, азотфіксації та денітрифікації. За умов достатньої уваги до мікроорганізмів задіяних у трансформації азоту можна отримати високий рівень ефективності використання азотних добрив без надмірного нагромадження нітратів та запобігти забрудненню навколишнього середовища.

Взагалі, відомо два основних шляхи зв'язування молекулярного азоту в природі — фізико-хімічний та біологічний. Перший пов'язаний із впливом на молекулярний азот електричних розрядів, які бувають під час грози. Кількість зв'язаного таким способом азоту незначна та не відіграє великої ролі в живленні рослин. Другий шлях фіксації молекулярного азоту — із життєдіяльністю мікроорганізмів, що належать до двох груп: мікроби, які перебувають у симбіозі з рослинами, та азотфіксатори, що вільно живуть у ґрунті та воді.

Азотфіксувальні організми, що класифікуються як симбіотичні, здатні утворювати симбіоз із бобовими (наприклад, *Rhizobium*) і небобовими рослинами (наприклад, *Frankia*) і несимбіотичні (вільно існуючі, асоціативні та ендоситні) *Azospiril-*

lum, *Azotobacter*, *Gluconoacetobacter diazotrophicus* і *Azocarus* і т. д. азотфіксатори та ціанобактерії (*Anabaena*, *Nostoc*), які здатні утворювати необлігатні взаємодії з рослинами. Азотфіксувальні бактерії підвищують урожайність багатьох культур, як-от соняшник, морква, буряки цукрові, цукрова тростина, баклажани, перець, бавовна, пшениця, рис, овес, ячмінь, гірчиця, сезам, льон, кукурудза, сорго, джут, тютюн, тощо [5; 9; 12–15].

Найвідомішим прикладом успішного використання бактерій є обробка насіння бобових симбіотичними мікроорганізмами — ризобіями (*Rhizobium*), яка спрямована на максимальну реалізацію потенціалу врожайності шляхом внесення великої кількості життєздатних ризобій до ризосфери, для забезпечення швидкої колонізації, нодуляції і фіксації атмосферного азоту за допомогою обраного штаму інокулянту [16].

Рід *Rhizobia*, що належить до родини *Rhizobiaceae*, — загальна назва для широкого кола бактерій, що фіксують азот у симбіозі з бобовими рослинами. До *Rhizobia* входять багато видів бактерій, які функціонально не ідентичні один одному. Їх загальна особливість — формування симбіотичних зв'язків із рослинами-господарями та викликати розростання тканин коренів рослини у вигляді кореневих бульбочок, галлів та ін. Це фенотипово гетерогенні, переважно аеробні, неспороутворювані, ґрунтові бактерії, які здатні до сапрофітного існування без рослини-господаря. Важливо пам'ятати, що кожний вид бобової рослини може вступати в симбіоз із певним видом бактерій. Наприклад, соя реагує лише на види *Bradyrhizobium japonicum* (найбільш ефективні та поширені), *Bradyrhizobium elkanii* або *Sinorhizobium fredii* (*Ensifer fredii*) (табл.).

Представники *Rhizobia* можуть жити в бульбочках і фіксувати атмосферний азот для виробництва іонів амонію, доступної для рослин форми азоту. Щоб підтримувати цей симбіоз, рослини-господарі мають використовувати фотосинтати як енергію для утворення бульбочок і підтримки бак-

Бактерії-симбіонти бобових рослин

Рослина	Бактерія-симбіонт
Соя	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>
Горох	<i>Rhizobium leguminosarum</i>
Люпин	<i>Bradyrhizobium</i> sp.
Нут	<i>Mesorhizobium ciceri</i>
Сочевиця	<i>Rhizobium leguminosarum</i>
Квасоля	<i>Rhizobium phaseoli</i>
Люцерна	<i>Sinorhizobium meliloti</i> (<i>Ensifer meliloti</i>)
Конюшина	<i>Rhizobium trifolii</i>
Козлятник	<i>Rhizobium galegae</i>
Ляденець	<i>Mesorhizobium loti</i>
Еспарцет	<i>Rhizobium simplex</i>

терій. Хоча ця симбіотична взаємодія є корисною в умовах обмеженої кількості азоту, вартість цих фотосинтатів висока для рослини. Тому, саме рослини-господарі мають збалансувати переваги азотного живлення, що забезпечується ризобіями, і витрати на джерела вуглецю для утворення бульбочок. Щоб оптимізувати цей симбіоз, бобові контролюють кількість бульбочок, використовуючи системи негативного/позитивного зворотного зв'язку на великій відстані у відповідь на ризобіальну інфекцію та доступність поживних речовин у ґрунті. Загалом, взаємодія мікро- та макропартнерів у випадку створення даного симбіозу є складним багатоступеневим процесом, що викликає глибокі фізіологічні та метаболічні зміни в обох партнерів – рослини та мікроорганізму. Розвиток ризобій у бульбочках суворо контролюється рослиною та в ній відбуваються процеси схожі з реакцією на пошкодження фітопатогенними бактеріями: синтез етилену, фенолів, пероксидаз тощо. Проте, у цьому випадку не відбувається інактивації мікроорганізму, а має місце регуляція розмноження ризобій. Серед існуючих зовнішніх чинників гальмування бульбочкоутворення є контроль наявності у ґрунті азотних сполук. Це дає змогу рослині знизити витрати на формування бульбочок і фіксацію азоту, коли у ґрунті присутня достатня кількість джерел

азоту. Тобто, завдяки механізму азотного зондування, що діє локально у коренях, рослина сама керує процесом утворення симбіозу. І саме тому під час внесення в ґрунт високих доз азотних добрив, навіть за наявності обробки якісним та ефективним біопрепаратом утворення бульбочок не відбувається [17].

Такі зовнішні чинники, як склад ґрунту, наявність вологи, температура і рН також впливають на ріст рослин і ризобій, а також розвиток бульбочок [18]. Утворенню бульбочок, тобто створенню ефективного симбіотичного апарату також можуть перешкоджати багато зовнішніх чинників, зокрема як-от низький рН ґрунту. На думку багатьох дослідників, рН-чутливий етап для бульбочок спостерігається на початку інфекційного процесу, де прикріплення ризобій до корневих волосків є одним з етапів, які найбільше «страждають» від кислого середовища в ґрунтах. Деякі вчені вважають, що кислотність має більш серйозні наслідки для розмноження ризобій та становлення симбіозу, ніж низький рівень фосфору або токсичний вплив алюмінію. Висока концентрація іонів водню порушує обмін сигналами між рослиною-господарем і мікросимбіотом. Зниження секреції рослинами флавоноїдів зменшує експресію Nod-генів ризобій і обмежує виділення Nod-факторів. Зниження Nod-факторного сигналіну призводить до блокування таких фаз, як-от деформація кореневого волоска та його скручування. Також як було показано, що низьке значення рН впливає на здатність ризобій прикріплюватися до корневих волосків і колонізувати їх, що призводить до зниження кількості утворених бульбочок. Окрім того, низький рівень рН ґрунту значно послаблює процеси, що відбуваються після, або паралельно з інфікуванням кореневого волоска. Вони включають експресію генів ранньої нодуляції, ініціацію поділу клітин та створення примордій. Ліном зі співавт. на досліді з використанням мутантної AON-дефіцитної лінії сої визначено, що GmNARK-залежний системний механізм має ключове значення у гальмуванні формування бульбочок на

бобових рослинах за дії низького рН і його контроль відбувається безпосередньо у надземній частині. Це інгібування індуковано вже на початкових етапах онтогенезу бульбочок, між 12–96 год після інокуляції штамом *Bradyrhizobium japonicum*. Крім того, у відповідь на кислотний стрес пригнічується транскрипція великої кількості відомих генів ранньої нодуляції і таке пригнічення є системним. Такі експериментально доказові дані, що низький рН діє системно через рецепторну кіназу GmNARK у пагоні, щоб пригнічувати розвиток бульбочок у корені, є проривом у встановленні одного з механізмів, відповідальних за гальмування бульбочкоутворення у бобових культурах за умов низького рН ґрунту, які підкреслюють складність регулювання цього процесу. Тому, кислотність ґрунту не лише впливає на ріст і розвиток ризобій чи бобових рослин, а й безпосередньо інгібує утворення бульбочок як за рахунок локальних, так і системних чинників [19]. Все це є важливим моментом, який звертає нашу увагу на необхідності регуляції такого ключового елемента як кислотність ґрунту. Найпростіший підхід до вирішення проблеми низького рН ґрунту полягає у його піднятті на відповідний рівень. Найпоширенішим засобом підвищення рН ґрунту є вапнування. Застосовуючи CaCO_3 , ми зв'язуємо надлишок іонів H^+ і в той самий час вивільняємо іони Ca^{2+} , які можуть бути використані як елементи живлення.

Також треба зазначити, що крім надання симбіотичного азоту, деякі представники симбіотичних бактерій здатні до синтезу фітогормонів та речовин, що стимулюють ріст рослин, як-от індол-3-оцтові кислоти, цитокініни, гібереліни, рибофлавін, Nod-фактори тощо. Тому, ризобії здатні позитивно впливати на рослину не лише завдяки забезпечення її азотом, а й утворенням різноманітних метаболітів.

Ефективні мікроорганізми, що місять у собі біопрепарати на основі ризобій, за правильних умов застосування, демонструють високий рівень фіксації азоту та успішно конкурують із аборигенними популяціями ризобій. Багаторічними дослідженнями доведе-

но, що середній приріст урожаю від застосування ефективного інокулянту становить близько 120 кг сої на га порівняно з інфікуванням «дикими» расами бактерій. Такий ефект отримується за рахунок внесення бактерій прямо на насіння, бо в ґрунті вони містяться хаотично та насамперед високій активності лабораторно селекціонованих мікроорганізмів за створення мікробного препарату.

Як було зазначено вище, існує група несимбіотичних азотфіксувальних бактерій — *Azotobacter*, *Azospirillum*, а також окремі представники *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Erwinia*, *Citrobacter* та ін. Ці мікроорганізми набувають дедалі більшої поширеності серед існуючих біодобрив завдяки своїй універсальності та широкому колу рослин із якими вони взаємодіють. Представники цих бактерій, окрім здатності фіксувати азот, володіють низкою корисних для рослин функцій. Наприклад, можуть виробляти вітаміни, як-от тіамін і рибофлавін, рослині гормони — гетероауксин, гібереліни, цитокініни, а також поліпшувати структуру ґрунту шляхом синтезу слизових речовин, які склеюють ґрунтові частинки, покращуючи її структуру. Деякі представники *Azotobacter* та *Azospirillum* здатні істотно поліпшувати ріст рослин і посилювати їх стійкість до посухи завдяки підвищенню схожості насіння та збільшенню площі коренів. Бактерії роду *Azospirillum* часто характеризуються здатністю продукувати біологічно активні речовини, під впливом яких активізується хлоропластогенез, ріст і розвиток рослин, підвищується стійкість рослин до несприятливих чинників навколишнього середовища та збудників хвороб рослин [20; 21]. Пізні представники несимбіотичних азотфіксаторів, як-от *Azotobacter chroococcum*, *Azotobacter vinelandii*, *Azotobacter salinestrus*, *Methylobacterium symbioticum*, *Azospirillum lipoferum*, *Azospirillum brasilense* зареєстровані як добрива для підвищення продуктивності різних культур. Цікавим є той факт, що, наприклад, інокуляція бактеріями *Azospirillum* може змінювати кореневу морфологію за допомогою продукування рістрегулювальних сполук

та сидерофорів. Це також збільшує число бічних коренів і посилює утворення кореневих волосків, що забезпечує більшу площу поверхні кореня і дає змогу абсорбувати достатню кількість вологи та поживних речовин.

На ринку є багато препаратів, як на основі вільних чи асоціативних азотфіксаторів — азотобактер та азоспіриллюм, як-от — Vixeran (Syngenta), BlueN (Corteva Agriscience), Raise-N (Санагро Україна), BioMag (Ензим), так і на основі симбіотичних бактерій — Optimize (Bayer), Hi Stick Soy (BASF), Vault (BASF), Excalibre (ABM), Premium Inoculant (Legume Technology), Wealth N (Санагро Україна), AgriBacter (Lallemand for Agritema), Ризолайн (Жива земля, БТУ-Центр), БіоМаг-соєа (Ензим) тощо.

Розчинення фосфатів і мобілізація калію, заліза. Недоступність фосфору (P) в ґрунті є серйозною проблемою і вважається головним обмежувальним чинником зниження врожайності сільськогосподарських культур у сучасній сільськогосподарській екосистемі. У кислому ґрунті фосфор переважно іммобілізований у двох формах, тобто неорганічний фосфор (Pi) і органічний фосфор (Po). Він може бути захоплений мінеральними сполуками гідроксидів заліза (Fe) або алюмінію (Al), або — включений у породи, багаті мінеральними оксидами, як-от гематит, гетит і гіббсит. У лужному ґрунті P утримується в менш розчинних мінеральних сполуках (варисцит, стренгіт і апатит) магнію (Mg) і кальцію (Ca). Органічний фосфор (Po) становить від 30% до 50% загального фосфору, присутнього в ґрунті, переважно у формі інозитолфосфатів, фосфоліпідів і цукрофосфатів. Реакції мінералізації ґрунту зазвичай активуються ґрунтовими мікробами в поєднанні з ферментом фосфатазою в ризосфері рослин для вивільнення Pi з фіксованих резервуарів P. Чинники навколишнього середовища, як-от рН ґрунту, температура, вміст вологи та фізико-хімічні властивості (текстура, органічні речовини та електропровідність), впливають на процес мінералізації. Рос-

лини природним способом поглинають Pi (неорганічний фосфор) із ґрунтових розчинів у формі H_2PO_4^- і HPO_4^{2-} , які перебувають у вузькому діапазоні рН (6,0–6,5). Однак, якщо Pi знерухомлений у твердому ґрунті або перетворений на Po, він переважно буде недоступний для рослин [22].

У сучасній сільськогосподарській практиці фермери застосовують хімічні фосфорні добрива для збільшення росту та врожайності культур. Інтенсивне використання фосфорних добрив викликає надмірне накопичення фосфору в ґрунті. Лише 10–20% загального P, внесеного в ґрунт, поглинається рослинами у вигляді Pi. Частина накопиченого фосфору в добривах, внесених у ґрунт, вимивається у навколишні водойми, що впливає на якість води. Це є причиною того, що застосування штучних фосфорних добрив не рекомендовано для покращання родючості ґрунту, через високі ризики забруднення підземних вод, ураховуючи те що хімічні добрива лише тимчасово посилюють рівень P у ґрунті. Крім того, запаси фосфоритів (невідновлювані джерела фосфору) постійно скорочуються. Очікується, що в найближчі 50–100 років природні джерела запасів фосфору будуть вичерпані. Тому, розуміючи динаміку фосфору в ґрунті, важливо знати можливі альтернативи для підвищення кількості доступного фосфору в ґрунті, найперспективнішою з яких вважається використання мікробних препаратів [22; 23].

Механізм солюбілізації фосфору, який застосовується мікроорганізмами, містить: (1) вивільнення комплексних сполук — аніони органічних кислот, сидерофори, протони, гідроксильні іони, CO_2 , (2) вивільнення позаклітинних ферментів або це також називають біохімічною мінералізацією фосфору та (3) вивільнення фосфору під час деградації субстрату [23; 24].

Найефективнішими фосфатмобілізуювальними бактеріями є представники родів, як-от *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Microbacterium*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Serratia* і *Rhizobium*, *Aspergillus*, *Bacillus* і *Clostridium*. Вони часто виявляються в

ризосфері різних рослин та є ефективними для підвищення доступності фосфору, та деякі калію, в ґрунті.

Найрепрезентативнішими родами фосфатмобілізаторів є *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Glucanobacter* і *Burkholderia*, тоді інші роди, як-от *Rhizobium*, вважаються менш дослідженими [23; 25].

Солюбілізація бактеріями неорганічних ґрунтових фосфатів, як-от $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, FePO_4 і AlPO_4 , відбувається за рахунок виробництва органічних кислот (1), сидерофорів (2) і гідроксильних іонів (3).

Розчинення неорганічного фосфору здійснюється в результаті дії низькомолекулярних органічних кислот. Виробництво органічних кислот, зокрема, глюконових і карбонових, є одним із добре вивчених механізмів, що використовують мікроорганізми для розчинення неорганічних фосфатів. Бактерії *Bacillus*, *Rhodococcus*, *Arthrobacter*, *Serratia*, *Chryseobacterium*, *Gordonia*, *Phyllobacterium* і *Delftia* застосовують для цього лимонну, глюконову, молочну, янтарну та пропіонову кислоти. Стресостійкі бактерії *Burkholderia vietnamiensis* виробляють глюконову і 2-кетоглюконову кислоти, які беруть участь у розчиненні фосфатів. Ендофіти *Pantoea dispersa*, ефективно розчиняють $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, FePO_4 і AlPO_4 , шляхом виділення саліцилової кислоти, бензол-оцтової та інших органічних кислот, до того ж у ґрунті підвищується концентрація розчинного фосфору, а також збільшується розмір і різноманітність мікробної популяції ґрунту [22; 23].

Через секрецію продукції органічної кислоти мікроорганізми відіграють важливу роль у солюбілізації P (і) завдяки зниженню рН або реакції хелатування катіонів, зв'язаних із P шляхом конкуренції з P за місця адсорбції в ґрунті. Так, наприклад, зниження рН середовища свідчить про секрецію органічних кислот мікроорганізмами фосфатмобілізаторами через прямий шлях окислення, який відбувається на зовнішній стороні їх цитоплазматичної мембрани. Коли P потрапляє в ґрунт, він вступає у взаємодію з іншими металами, як-от Fe, Al і Ca, що робить P недоступним для

рослин через утворення фосфату двовалентного заліза, фосфату алюмінію, фосфату кальцію тощо. Вивільнення органічних кислот за допомогою фосфатмобілізаторів призводить до реакції хелатування, і через це зв'язаний P з іншими металевими елементами звільняється і стає доступним для рослин. Іншим механізмом солюбілізації є утворення H_2S , який реагує з фосфатом заліза, утворюючи сульфат заліза з виділенням фосфату. Це може бути тому, що активність фосфатмобілізаторів відбувається, як наслідок мікробного окислення сірки, виробництва нітратів і утворення CO_2 . Ці процеси зрештою призводять до утворення неорганічних кислот, як-от сірчана кислота [22; 23].

Продуктування сидерофорів є одним із механізмів, що не досить часто зустрічається у мікроорганізмів, але багато видів бактерій та грибів виробляють сидерофори у відповідь на нестачу заліза в навколишньому середовищі. Існує велика різноманітність сидерофорів, які відрізняються за своєю структурою та властивостями. Деякі з них є специфічними для певних видів мікроорганізмів, тоді як інші можуть траплятися у різних представників мікробіоти. Сидерофори — це вторинні метаболіти у вигляді низькомолекулярних сполук (<1 кДа) з високою специфічністю та спорідненістю до хелатування або зв'язування заліза чи фосфору та подальшим транспортуванням і накопиченням його в бактеріальних клітинах. Виділення сидерофорів бактеріями може стимулювати ріст рослин, шляхом покращання живлення (пряма дія) або інгібуванням розвитку фітопатогенів через секвестрування заліза чи фосфору з навколишнього середовища (непрямий ефект). Сидерофори допомагають рослинам не тільки забезпечувати необхідні поживні речовини в умовах стресу, але — очищати ґрунт від важких екологічно небезпечних металів. Вони можуть зв'язувати метали, як-от Al, Cd, Cu, Ga, In, Pb і Zn, а також радіонукліди, включаючи U і Np. Тому, бактеріальні сидерофори можуть полегшити стреси, які накладаються на рослини, через високий рівень

токсичних елементів у ґрунті. У деяких випадках такі метали секвеструються поза клітинами. Таки види бактерій, як *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Grimontella*, *Klebsiella*, *Stenotrophomonas*, *Rhizobium*, *Herbaspirillum* і *Citrobacter* мають здатність до продукування цих сполук [26–29].

Солюбілізація органічного фосфату.

Фосфор може вивільнятися в ґрунті з органічних сполук трьома групами ферментів: 1) неспецифічними фосфатазами, які призводять до дефосфорилювання фосфоєфірних або фосфоангідридних зв'язків в органічній речовині; 2) фітазами, які переважно вивільняють Р, який є незмінним у формі фітинової кислоти та 3) фосфонатів і С–Р-ліаз. Це ферменти, які здійснюють розщеплення С–Р в орґанофосфонатах. Доступність органічних фосфатних сполук для живлення рослин може бути обмеженою, оскільки фосфор є високоактивним та здатний взаємодіяти з іншими металевими елементами, які присутні в ґрунті чи ризосфері, та стає недоступним для рослин, що затримує їх ріст і, як наслідок, урожайність. Тому, здатність ферментів виконувати бажану функцію в ризосфері є вирішальним аспектом їх ефективності в живленні рослин.

Уже давно вченими продемонстровано важливу роль мікробних екзополісахаридів у солюбілізації фосфатів. Мікробні екзополісахариди — це полімери, які переважно складаються з вуглеводів, що виділяються деякими бактеріями та грибами на зовнішню поверхню їх клітинних стінок. Існує безліч бактеріальних штамів, як наприклад, *Enterobacter* sp. (EnHy-401), *Arthrobacter* sp. (ArHy-505), *Azotobacter* sp. (AzHy-510) і *Enterobacter* sp. (EnHy-402), що можуть розчиняти трифосфат кальцію [30]. Мікроорганізми із цією здатністю можна виділити із ґрунтів як органічного, так і інтенсивного землеробства, що було подано в одній із наших попередніх робіт [31].

Органічні форми фосфору, зокрема фітати, переважають у більшості ґрунтів (10–50% від загального фосфору) і мінералізуються за допомогою фітаз (міо-інозитол,

гексакіфосфат, фосфогідролаз). Бактерії з фітазною активністю виділені з ризосфери і запропоновані як агрономічно корисні мікроорганізми для використання в ґрунтах із високим вмістом органічного фосфору. Виробництвом фітаз характеризуються ризосферні бактерії, як-от *Bacillus* sp., *Celulosimicrobium* sp., *Tetrathiobacter*, *Acetobacter* sp., *Klebsiella terrigena*, *Pseudomonas* sp., *Paenibacillus* sp. та *Enterobacter* sp.

Мінералізація органічного фосфору відбувається шляхом синтезу багатьох різних фосфатаз, каталізацією гідролізу складних ефірів фосфорної кислоти. Важливо відзначити, що розчинення фосфатів і їх мінералізація можуть співіснувати в одному бактеріальному штамі.

Окремою групою фосфатмобілізуювальних мікроорганізмів є ендомікоризні гриби (AMF), які можуть сформувати мережу гіф, що взаємодіє з корінням рослин для поліпшення перенесення поживних речовин і захисту рослин від збудників хвороб і деяких форм абіотичних стресів. Серед AMF, що широко використовуються в сільському господарстві, переважають гломероміцети, які найефективніше трансформують фосфор [22; 27].

На нашому ринку існує велика кількість препаратів, які мають фосфатмобілізуювальні мікроорганізми та здатні покращувати доступність цього елемента в ґрунті — (Граундфікс (Жива земля, БТУ-Центр), Біофосфорин (Ензим), Raise РК (Санагро Україна), Vi fosfor (Agrarius) тощо). Однак, на жаль, препарати, як-от Rise Р від Lallemand та Jump start від Novozymes, що є світовими лідерами в цьому секторі практично відсутні в доступі для наших аграріїв.

Ефективність бактеріальних препаратів визначається *низкою показників, які пов'язані з їх механізмом дії та типом мікроорганізму*, що постає основною діючою речовиною.

1. Важливим чинником ефективності біопрепаратів на основі симбіотичних мікроорганізмів є наявність у бульбочкових бактерій таких властивостей:

- *специфічність до рослини-господаря* — здатність вступати у симбіоз із чітко ви-

значеною кількістю видів бобових рослин;

- *вірулентність і конкурентоспроможність* — здатність проникати в корінь рослини-господаря і викликати утворення бульбочок у присутності аборигенних штамів бульбочкових бактерій;
- *азотфіксувальна активність* — властивість перетворювати молекулярний азот в іони амонію за рахунок діяльності спеціалізованої ферментної системи;
- *здатність створювати ефективний симбіоз* — тобто підвищувати врожай і вміст азоту (білка) у рослини-господаря, що пов'язано зі спроможністю до синтезу додаткових фізіологічно активних сполук;
- *комплементарність* — ефективність взаємодії з різними сортами відповідних рослин-господарів.

2. Стартова норма внесеного азоту є істотним чинником за застосування препаратів на основі симбіотичних азотфіксувальних бактерій. Невеликі стартові норми азотних добрив (N_{10-20}) не впливають негативно на інтенсивність азотфіксації. Як було зазначено вище, завдяки механізму азотного зондування присутнього у коренях бобових, рослина може керувати процесом утворення симбіозу. Тобто, за внесення в ґрунт високих доз азотних добрив, навіть за наявності обробки якісним та ефективним біопрепаратом утворення бульбочок буде пригнічуватися (їх азотфіксувальна здатність знижуватись) або ж їх утворення взагалі не відбудеться.

3. Однією з умов високої ефективності будь-яких бактеріальних добрив є їх виготовлення в асептичних умовах. Контамінація (забруднення) препаратів іншою мікробіотою знижує їхню вірулентність та конкурентоспроможність щодо диких рас ґрунтових мікроорганізмів.

4. Препарат має містити необхідну концентрацію бактерій для здатності цілковито реалізувати свій потенціал у ґрунті.

5. За обробки насіння бактеріальними препаратами необхідно забезпечити рівномірну його обробку. Під час передпосівного оброблення насіння втрати можуть

виникати в разі використання застарілої або невідкаліброваної техніки. У такому випадку більша частина робочого розчину потрапляє на насіння, яке надходить першим, решта, що поступає пізніше, залишається практично не обробленою. Як наслідок, близько 20–30% насіння дістає надлишок препарату, близько третини отримує розраховану кількість, а решта залишається без належної обробки. Технології обробки насіння та налаштування машин аналогічні таким за протруювання. Потрібно, щоб препарат рівномірно розподілявся по всьому зерну і утримувався на ньому. Перед обробленням насіння машину для протруювання слід ретельно очистити, промити, дезінфікувати згідно з санітарними правилами.

Треба зазначити, що існують такі методи обробки насіння хімічними протруйниками разом із біопрепаратом (у випадках, коли це дозволено виробником біопрепарату) — бакова суміш — змішування мікробного препарату з пестицидом в одній ємкості; волога обробка — одночасне нанесення інокулянту з пестицидом, що подаються з різних ємкостей; суха обробка — послідовне нанесення спочатку хімічного протруйника, а після його висихання на насінні наноситься інокулянт.

6. За необхідності створення однієї бакової суміші бактеріального препарату з будь-якими пестицидами потрібно провести їх лабораторне тестування на сумісність, навіть за наявності рекомендацій від виробника.

7. За обробки насіння будь-якими (рекомендованими та попередньо протестованими) хімічними пестицидами сумісно з біопрепаратами, передусім розводять у воді хімічний препарат, і лише потім додають у нього біологічний. Спочатку вода, потім — хімікати, і лише потім бактерії. Вода для розведення має бути чиста, нехлорована та нежорстка.

8. Необхідно не забувати, що майже всі мікроелементи є токсичними металами і їх концентрація у баковій суміші буде отруйною для бактерій (особливо кобальт, мідь і молібден). Тому, сумісне їх використання

з мікробними препаратами не рекомендовано всіма провідними виробниками біопрепаратів.

9. Відомо, що всі мікроорганізми є чутливими до дії сонячного ультрафіолету. Тому, наприклад, обробку насіння необхідно проводити у закритих приміщеннях чи під навісом, або в період низької сонячної активності (18:00–10:00) чи за хмарних умов. Допускається обробка вдень у безсонячну погоду за температури не нижче +5°C. Оптимальними умовами для дії біопрепарату вважається: рН 5,0–7,0; температура 15–40°C, вологість ґрунту 60–70%.

Для ефективної роботи біопрепаратів дуже важливо дотримуватися основних правил щодо їх зберігання. Їх необхідно зберігати за температури від +5°C до +10°C в темному, захищеному від прямих сонячних променів місці. Підвищення температури (як і перемерзання) за зберігання призводить до зменшення терміну придатності препарату. Дуже важливо не допускати замерзання мікробних препаратів і різких перепадів температур, а також уникати контакту з фумігантами під час зберігання і в процесі застосування.

Отже, ми розкрили всі ключові чинники, що визначають ефективність використання бактеріальних біопрепаратів у сільському господарстві, зокрема й на основі симбіотичних мікроорганізмів. Усвідомлення необхідності дотримання технологічних норм за використання біопрепаратів — зокрема забезпечення стерильності, правильного дозування, сумісності з іншими речовинами та захисту від дії ультрафіолету — є ключовим чинником їхньої ефективності. Лише чітка координація всіх етапів — від виробництва до внесення у ґрунт — гарантує високу результативність препаратів, підвищення врожайності, покращання якості продукції та сприяє сталому функціонуванню агроєкосистем.

Нині існує потреба в трансформації сільського господарства, яка забезпечить сталий розвиток агросектору у відповідь на глобальні виклики ХХІ ст.: зміни клімату, виснаження природних ресурсів та зростання попиту на екологічні продукти.

Використання мікробних препаратів допоможе фермерам підвищувати продуктивність, відновлювати родючість ґрунтів, зменшувати залежність від хімічних добрив і скорочувати вуглецевий слід агровиробництва.

На думку багатьох міжнародних експертів, у найближчі десятиліття, сталий розвиток сільського господарства буде залежати від ефективного та дозованого використання хімічних препаратів та агрономічно корисних мікроорганізмів. Вважається, що це може стати основою для другої зеленої революції в сільському господарстві. Сподіваймося, розуміння важливості мікроорганізмів для сільського господарства стане більш широким і необхідність їх застосування не буде викликати сумнівів.

ВИСНОВКИ

Ефективне застосування мікробних добрив у агросфері передбачає урахування функціонального різноманіття мікроорганізмів, умов їхньої дії та технологічних чинників, що визначають успішність впровадження біологічних рішень у практику землеробства. Корисні мікроорганізми відіграють ключову роль у підвищенні біодоступності макро- й мікроелементів, зокрема азоту, фосфору, калію та заліза, що підкреслює актуальність біодобрив у розвитку екологічно орієнтованих агросистем.

Особлива увага серед виробників біопрепаратів приділяється симбіотичним азотфіксаторам (рід *Rhizobium*), які ефективно забезпечують фіксацію атмосферного азоту для бобових культур за умов дотримання оптимального кислотно-лужного режиму ґрунту та помірного рівня мінерального азоту. Водночас несимбіотичні азотфіксувальні мікроорганізми, як от *Azotobacter* та *Azospirillum*, виявляють ширший спектр агрономічної дії завдяки здатності продукувати фітогормони, екзополісахариди, сидерофори та інші регуляторні метаболіти, що стимулюють розвиток рослин, активізують мікробіоту ґрунту та покращують його структуру.

Фосфатмобілізувальні мікроорганізми є потужним біологічним ресурсом для покращання фосфорного живлення, особливо у фосфорно-закріплених або малобуферних ґрунтах. Їх дія ґрунтується на синтезі органічних кислот, ферментів і хелатних сполук, що сприяють розчиненню мінералів і підвищенню доступності поживних речовин для рослин.

Ефективність дії мікробних добрив визначається не лише біологічною активністю штамів, а й низкою технологічних аспектів: якістю та формуляцією препарату, способом і часом внесення, умовами зберігання, сумісністю з агрохімікатами та агротехнічними прийомами. Для досягнення максимальної ефективності необхідно дотримуватись цілісного, інтегрованого підходу до застосування біодобрив у різних типах агроєкосистем.

Практична ефективність мікробних добрив підтверджується численними лабораторними та польовими дослідженнями. Їх систематичне використання може по-

зитивно впливати на поліпшення фізико-хімічних властивостей ґрунту, підвищення біологічної активності ризосфери, продуктивності сільськогосподарських культур і стійкості агроєкосистем до біотичних і абіотичних чинників. Завдяки цьому мікробні препарати розглядаються не лише як агрономічний інструмент, а й як складова екологічно збалансованої стратегії землекористування. Їх інтеграція в агросистеми сприяє гармонізації взаємодії між виробництвом і природними процесами, підтримуючи розвиток циркулярної біоекономіки та досягнення цілей сталого розвитку.

Отже, мікробні добрива постають як потужне біотехнологічне рішення, що поєднує продуктивність, екологічну відповідальність та інноваційність. Їх широке впровадження здатне забезпечити формування нової якості аграрного виробництва, адаптованого до кліматичних викликів і спрямованого на досягнення продовольчої безпеки на локальному та глобальному рівнях.

ЛІТЕРАТУРА

- Гуменюк, І. І. (2022). Актуальні питання біобезпеки у сучасних умовах. У О. І. Дребот, А. І. Парфенюк (Ред.), *Екологічна та біологічна безпека України: моногр.* (с. 238–268). Київ: Видавництво НУБіП України.
- Білявська, Л., Іутинська, Г., Скроцький, С., & Лобода, М. (2023). Екологічний стан орних ґрунтів, постраждалих унаслідок воєнних дій в Україні. *Екологічна і біологічна безпека в умовах війни: реалії України* (с. 19). Київ: ІАП.
- Левішко, А., Мазур, С., & Гуменюк, І. (2023). Оцінка мікробного ценозу ґрунтів, що зазнали впливу активних військових дій. *Інноваційні екологобезпечні технології рослинництва в умовах воєнного стану* (с. 95). Київ: ІАП.
- Левішко, А. С. (2023). Агрономічно корисні мікроорганізми як основа біологічної безпеки сільського господарства. У С. Т. Омельчука (Ред.), *Екологічні та гігієнічні проблеми сфери життєдіяльності людини* (с. 125–126). Київ: МВЦ «Медінформ». URL: <http://ir.library.nmu.com/bitstream/123456789/7014/1/Матеріали%20науково-практичної%20конференції.pdf>.
- Adal, Y. M. (2024). The impact of beneficial microorganisms on soil vitality: a review. *Frontiers in Environmental Microbiology*, 10(2), 45–53. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.fem.20241002.12>.
- Singh, S., Chaudhry, D., & Verma, S. K. (2023). Soil microorganism and their role. *The agriculture magazine*, 2(3), 179–182. DOI: <https://fliphtml5.com/igkqp/syer/basic>.
- Aloo, B. N., Tripathi, V., Makumba, B. A., & Mbeoga, E. R. (2022). Plant growth-promoting rhizobacterial biofertilizers for crop production: The past, present, and future. *Front. Plant Sci. Sec. Plant Symbiotic Interactions*, 13. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1002448>.
- Timmusk, S., Beheers, L., Muthoni, J., Muraya, A., & Aronsson, A. C. (2017). Perspectives and challenges of microbial application for crop improvement. *Frontinier Plant Sciences*, 8, 49. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00049>.
- Saeed, Q., Xiukang, W., Haider, F. U., Kucerik, J., Mumtaz, M. Z., Holatko, J., ... Naveed, M. (2021). Rhizosphere bacteria in plant growth promotion, biocontrol, and bioremediation of contaminated sites: a comprehensive review of effects and mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 10529. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms221910529>.
- Бунас, А. А., Ткач, Е. Д., & Дворецький, В. В. (2024). Біопрепарати в Україні та світі: сучасні тренди й перспективи. *Агроєкологічний журнал*, 4, 132–140. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2024.317163>.
- Agrochemical Market Reports*. URL: <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/global-biofertilizers-market>.
- Kumar, S., Diksha, D., Sindhu, S. S., & Kumar, R.

- (2021). Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*, 20(3), 100094. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100094>. PMID: 35024641; PMCID: PMC8724949.
13. Tiwari, A. K., & Pal, D. B. (2021). Beneficial bacterial microbes and their role in green remediation. In Virendra, Kumar, Mishra Ajay, Kumar (Eds.), *Sustainable Environmental Cleanup* (Vol. 15, pp. 315–332). DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823828-8.00015-3>.
 14. Bano, S., & Sheikh, M. I. (2016). Biological nitrogen fixation to improve plant growth and productivity. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 4(4), 597–599.
 15. Aasfar, A., Bargaz, A., Yaakoubi, K., Hilali, A., Ben-nis, I., Zeroual, Y., & Kadmiri, I. (2021). Nitrogen fixing *Azotobacter species* as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability. *Frontiers in Microbiology. Sec. Microbiotechnology*, 12. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>.
 16. Fahde, S., Boughribil, S., Sijilmassi, B., & Amri, A. (2023). *Rhizobia*: a promising source of plant growth-promoting molecules and their non-legume interactions: examining applications and mechanisms. *Agriculture*, 13(7), 1279. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13071279>.
 17. Okuma, N., & Kawaguchi, M. (2021). Systemic optimization of legume nodulation: A shoot-derived regulator, miR2111. *Frontiers of Plant Sciences*, 15(12), 682486. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.682486>.
 18. Miransari, M. (2016). Environmental Stresses in Soybean Production. *Soybean Production*, 2, 229–250. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2014-0-00254-7>.
 19. Lin, M. H., Gresshoff, P. M., & Ferguson, B. J. (2012). Systemicregulation of soybean nodulation by acidic growth conditions. *Plant Physiology*, 160, 2028–2039. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.112.204149>
 20. Parnell, J., Berka, R., Young, H. A., Sturino, J. M., Kang, Y., Barnhart, D.M., & DiLeo, M. V. (2016). From the lab to the farm: an industrial perspectives of plant beneficial microorganisms. *Frontiers in plant science*, 7, 1110. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01110>.
 21. Копилов, Є. П., Мамчур, О. Є., & Стрекалов, В. М. (2009). Діазотрофи роду *Azospirillum* як ендofіти рослин пшениці ярої. *Науковий Вісник Ужгородського університету. Сер. Біологія*, 25, 13–18.
 22. Ibrahim, M., Iqbal, M., Tang, Y.-T., Khan, S., Guan, D.-X., & Li, G. (2022). Phosphorus mobilization in plant–soil environments and inspired strategies for managing phosphorus: a review. *Agronomy*, 12, 2539. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102539>.
 23. Alori, E. T., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology. Section Plant Pathogen Interactions*, 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>.
 24. Ingle, K. P., & Padole, D. A. (2017). Phosphate solubilizing microbes: an overview. *International journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(1), 844–852. DOI: <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2017.601.099>.
 25. Beltran Medina, I., Romero Perdomo, F., Molano Chavez, L., Gutiérrez, A. Y., Silva, A. M., & Estrada Bonilla, G. (2023). Inoculation of phosphate solubilizing bacteria improves soil phosphorus mobilization and maize productivity. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 126, 21–34. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-023-10268-y>.
 26. Rodriguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, 17(4–5), 319–339. URL: https://www.researchgate.net/publication/9057353_Phosphate_solubilizing_bacteria_and_their_role_in_plant_growth_promotion#fullTextFileContent.
 27. Kalayu, G. (2019). Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. *International Journal of Agronomy*, 7. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/4917256>.
 28. Ahmed, E., & Holmstrom, S. J. M. (2014). Siderophores in environmental research. *Microbial Biotechnology*, 7, 196–208. DOI: <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12117>.
 29. Caracciolo, A. B., & Terenzi, V. (2021). Rhizosphere microbial communities and heavy metals. *Microorganisms*, 9(7), 1462. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9071462>.
 30. Yi, Y., Huang, W., & Ge, Y. (2008). Exopolysaccharide: a novel important factor in the microbial dissolution of tricalcium phosphate. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24, 1059–1065. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-007-9575-4>.
 31. Gumeniuk, I. I., Levishko, A. S., Demyanyuk, O. S., & Sherstoboeva, O. V. (2022). Properties of microorganisms iso-lated from soils under conventional and organic farming. *Microbiological journal*, 2, 12–23. DOI: <https://doi.org/10.15407/microbiolj84.02.012>.

Стаття надійшла до редакції журналу 03.02.2025

СЕГЕТАЛЬНА ФІТОБІОТА ЯК ЧИННИК ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ В АГРОФІТОЦЕНОЗАХ ЗА УМОВ ЗМІНИ КЛІМАТУ

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

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

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

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

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

У роботі проаналізовано вплив сегетальної фітобіоти як чинника екологічних ризиків в агрофітоценозах за умов кліматичних змін, що є одним із головних абіотичних стресових факторів. У дослідженні бур'яни розглядаються як індикатори порушень у функціонуванні агроєкоосистем і деградації ґрунту. Встановлено, що рівень забур'яненості може виступати маркером адаптивного потенціалу агрофітоценозу до абіотичних стресів. Проаналізовано сучасні наукові дослідження щодо впливу основних екологічних чинників за умов зміни клімату — температурних стресів, посух, надмірного зволоження, зниження родючості ґрунтів, дегуміфікації та дисбалансу ґрунтової мікробіоти на структуру й динаміку агрофітоценозів. Особливу увагу приділено змінам у видовому складі бур'янів, зокрема поширенню інвазійних і адвентивних видів, які підтверджують високу екологічну пластичність, конкурентоспроможність і здатність формувати домінуючі угруповання навіть за умов інтенсивного антропогенного впливу. Авторами розроблено п'ятирівневу бальну шкалу оцінювання екологічних ризиків в агрофітоценозах за ступенем їх забур'яненості — від мінімального (1 бал) до високого (5 балів). Такий підхід дає змогу оцінювати рівень екологічних ризиків в агроценозі та обґрунтовано планувати заходи з контролю його фітосанітарного стану. Показано, що рівень екологічного ризику у посівах сільськогосподарських культур обумовлено ступенем забур'яненості агроценозів. Доведено, що зниження екологічного ризику впродовж онтогенезу досягається шляхом застосування агротехнологій, які регулюють рівень забур'янення агроценозів і мають вплив на їх розвиток. Отримані авторами дані підтверджують, що зниження екологічного ризику забур'яненості в агроценозах можливе завдяки своєчасному екологічному моніторингу та впровадженню комплексу профілактичних, агротехнічних і захисних заходів, які сприяють підвищенню адаптаційної стійкості агрофітоценозів і регуляції їх фітосанітарного стану. Встановлено, що висока екологічна пластичність і адаптивні властивості сегетальної рослинності позитивно впливають на формування зон у межах агрофітоценозів, де бур'яни витісняють культурні види, завдяки поширенню гербіцидостійких популяцій. Такі процеси створюють екологічні ризики, які зумовлено загрозою біорізноманіттю та зниженням екологічної стабільності агроєкоосистем.

Ключові слова: *фітосанітарний стан, агроценоз, абіотичні стреси, інвазійні види, біорізноманіття, резистентність, конкуренція рослин.*

ВСТУП

У сучасних умовах глобальних кліматичних змін дедалі більш актуальною стає проблема екологічної стабільності агрофітоценозів. Підвищення середньорічних температур, нерівномірний розподіл опадів, зростання концентрації вуглекислого газу в атмосфері істотно змінюють агрокліматичні умови, що безпосередньо впливає на структуру та функціонування агроєкоосистем. Одним із головних чинників, що

стимує продуктивність культурних сільськогосподарських рослин, є сегетальна фітобіота — сукупність видів бур'янів, які є конкурентами за світло, вологу, поживні речовини та простір. Бур'яни з високою конкурентною спроможністю і адаптивністю можуть знижувати врожай, утворюючи багато насіння, яке залишається життєздатним багато років [1]. Сегетальні види рослин виявляють високу адаптивну здатність до абіотичних стресів і швидко змінюють ареали поширення, часто витісняючи

аборигенні або культурні види [2]. Особливої уваги набуває поширення рослин адвентивних та інвазійних видів, здатних змінювати структуру фітоценозу і формувати стійкі угруповання в умовах порушеної екологічної рівноваги [3].

Незважаючи на наявність значного обсягу інформації щодо видового складу бур'янів та їхньої шкодочинності, недостатньо дослідженим залишається питання взаємозв'язку між змінами абіотичних чинників довкілля і трансформацією сегетальної фітобіоти як фактора екологічного ризику. Зокрема, маловивченими є питання оцінювання екологічних ризиків за зміни конкурентоспроможності культурних рослин в умовах абіотичного стресу та фітосанітарного стану агрофітоценозів.

Мета роботи — обґрунтувати роль сегетальної фітобіоти як чинника екологічних ризиків в агрофітоценозах в умовах змін клімату та розробити градаційну шкалу для оцінювання рівнів екологічного ризику залежно від ступеня забур'яненості та впливу на стабільність агроєкосистем.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Загальновідомо, що сучасні зміни клімату в Україні рухаються в бік потепління, посушливості та перепадів у гідротермічних умовах навколишнього природного середовища. Вченими [4] встановлено, що останніми десятиліттями спостерігається тенденція фактичного зміщення ареалу природно-кліматичних зон України на 100–150 км у північні регіони країни. Це сприяє зміні територій поширення різних видів бур'янів. Зокрема, дослідженнями науковців В. Протопопова та М. Шевера [5] з'ясовано, що за впливу кліматичних змін відбувається перерозподіл видового складу та порушення структури природних екосистем. Серед інвазійних видів флори України за інвазійною активністю поділено на три групи: високоактивні, помірно активні та потенційно інвазійні.

Кожній агрокліматичній зоні притаманний відповідний комплекс сегетальної

фітобіоти. Однак, зі зміною гідрокліматичних умов відбувається посилення та висока акліматизація інвазійних видів у вторинних ареалах, що належать до інших агрокліматичних зон. Зокрема, за твердженням В. Писаренка з колегами [6], виявлено, що гідротермічні показники в агрокліматичній підзоні Північного Степу (Дніпропетровська, Кіровоградська обл. тощо) вже відповідають підзоні Південного Степу. Втім, агрокліматична підзона Північного Степу поступово переміщується в зону Лісостепу, а саме на територію Черкаської, Полтавської та інших областей. Автори стверджують, що у північних широтах м'які зими можуть сприяти виживанню зимуючих видів бур'янів та інтенсивному росту літніх однорічних бур'янів за впливу підвищених літніх температур [6].

Зі зміною клімату в Степу, за даними О. Іващенко із співавт. [7], почала змінюватися рослинність, серед якої набувають поширення карантинні і паразитичні види бур'янів: гірчак повзучий (*Acroptilon repens* L. DC.), хвилівник звичайний (*Aristolochia clematitis* L.), паслін рогатий (*Solanum cornutum* L.), просо алепське (*Sorghum halepense* (L.) Pers.), амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia* L.), усі види вовчків (*Orobancha* L.) та повитиць (*Cuscuta* spp.). Одночасно змінюються ареали поширення бур'янів, які традиційно є потужними конкурентами за воду, особливо в умовах її дефіциту. Так, у північному напрямку України поширюються ареали хвилівника звичайного (*Aristolochia clematitis* L.), березки польової (*Convolvulus arvensis* L.), молокана татарського (*Lactuca tatarica* L.) та ін.

Абіотичні чинники, що обумовлені глобальними кліматичними змінами, мають важливу роль у функціонуванні агроєкосистем, зокрема агрофітоценозів. Їхній вплив часто є непрогнозованим і малоконтрольованим, що може призводити до значних фізіологічних навантажень на культурні рослини. В Україні, як і у міжнародному науковому колі, вплив абіотичних чинників на фізіологію культурних рослин та загалом на фітосанітарний стан агро-

ценозів, достатньо вивчено та обґрунтовано у працях провідних вчених, зокрема: A. Monteiro та S. Santos (2022) [2], J. Storkey та ін. (2021) [3], О. Іващенко та ін. (2019) [7], І. Мостов'як та О. Дем'янюк (2020) [8], Д. Кірізій та О. Стасик (2022) [9]. На основі сучасних наукових досліджень встановлено, що у відповідь на абіотичний стрес у рослин активуються механізми адаптації на клітинному, тканинному та організмовому рівнях. Характер цієї реакції залежить від низки чинників, а саме: інтенсивності та тривалості впливу, фази онтогенезу й генетичної стійкості сорту [9].

Водночас за даними І. Мостов'яка та О. Дем'янюк [8], останніми роками клімат Центрального Лісостепу України характеризується потеплінням у вигляді зростання середніх місячних температур на 2,0–2,6°C влітку та на 1,6–1,9°C взимку із одночасним дефіцитом вологи та розподілом опадів упродовж року. На орних землях Лісостепу відмічають підвищення рівня присутності метлюга звичайного (*Apera spica-venti* (L.) Pal. Beauv.), хвоща польового (*Equisetum arvense* L.), шпегерлю звичайного (*Spergula arvensis* L.) [7]. Зазначені види бур'янів є ацидофітами, тобто рослинами, які є індикаторами кислих ґрунтів агроценозів, бідних на сполуки кальцію. Відсутність вапнування кислих ґрунтів у поєднанні з випаданням кислих опадів сприяє поступовому вимиванню сполук кальцію з орного шару ґрунту та підкисленню орних земель. Тому виникають екологічні ризики через втрати родючості ґрунтів в агроценозах та формування сприятливих умов для розширення ареалу ацидофільних видів бур'янів.

Аналіз досвіду іноземних вчених M. Anwar та ін. (2021) [1], J. Storkey та ін. (2021) [3], M. Matzrafi й ін. (2016) [10] та результати власних досліджень [11–13] показали, що екологічні ризики в агрофітоценозах найчастіше обумовлені довгостроковим впливом глобальних змін клімату на екосистему. За цих умов посилюються проблеми розповсюдження бур'янів та інвазійних рослин в агроекосистемах і, як наслідок, змінюються їхні ареали та щільність по-

пуляції. За глобальних кліматичних змін спостерігається тенденція до фактичного зміщення меж природно-кліматичних зон України на північ. Це супроводжується переміщенням характерної для цих зон флори та активних інвазійних видів, що зумовлює виникнення значних екологічних ризиків, пов'язаних із поширенням адвентивних та інвазійних видів рослин.

З огляду на очевидну загрозу, недостатньо вивченими залишаються дослідження екологічних ризиків в агрофітоценозах, що виникають внаслідок негативного впливу кліматичних чинників, які спричиняють зміни динаміки та видового складу сегетальної рослинності. Така ситуація є критичною, оскільки погіршення фітосанітарної ситуації в агрофітоценозах безпосередньо призводить до зниження їхньої продуктивності, зменшення кількості та якості врожаю, і, зрештою, негативно впливає на загальний екологічний стан агроекосистем.

Актуальність цього дослідження полягає у нагальній потребі всебічного вивчення динаміки змін у видовому складі сегетальної рослинності в умовах трансформації клімату, а також розробки ефективних стратегій мінімізації екологічних ризиків для забезпечення сталого розвитку сільського господарства та збереження агроекосистем.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У ході дослідження використано інформаційний, порівняльний і практичний аналіз наукових робіт для упорядкування тематичної проблематики. Опрацьовано наукові та методичні матеріали для аналізування екологічних ризиків за показниками фітосанітарного стану агрофітоценозів. За допомогою емпіричного та системного підходу виявлено взаємні залежності виникнення екологічних ризиків за впливу зміни агрокліматичних умов на сегетальну фітобіоту агрофітоценозів. Фітосанітарний аналіз здійснено на основі даних, отриманих у польовому досліді на дослідному полі Сквирської дослідної станції органіч-

ного виробництва Інституту агроєкології і природокористування НААН (СДСОВ ІАП НААН) у період 2016–2020 рр. відповідно до ПНД 03 «Органічне виробництво сільськогосподарської продукції» (№ ДР 0116U000492).

Оцінку рівня екологічного ризику проведено за створеною авторами градаційною шкалою, яка включає п'ятибальну градацію критеріїв оцінювання залежно від інтенсивності забур'яненості агрофітоценозу. Градаційну шкалу розроблено відповідно до методики І. Шуvara та ін. [14] з визначення рівня фактичної забур'яненості і ступеня забур'яненості агроценозів.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Екологічні ризики погіршення фітосанітарного стану агроценозів за впливу абіотичних чинників — температури повітря і вологості ґрунту. Беручи до уваги, що інтенсивні сільськогосподарські технології сприяють появі та поширенню в агроєкосистемах нових видів бур'янів, збудників хвороб рослин і шкідників, які здатні швидко адаптуватися до змінених умов середовища на тлі глобальних кліматичних змін [1–3; 8–10], нами було визначено перелік основних екологічних ризиків, пов'язаних із погіршенням фітосанітарного стану агроценозів України під впливом абіотичних чинників, зокрема температури повітря та вологості ґрунту. А саме: зміна ареалів поширення шкідливих організмів та їхнє просування у північні регіони країни; зростання чисельності видів шкодочинних організмів; поява нових видів бур'янів, шкідників і збудників хвороб; підвищення ступеня ураження культурних рослин; зниження ефективності традиційних фітосанітарних заходів; зростання екологічного порогу шкодочинності. Зазначені екологічні ризики зумовлюють погіршення якості та врожайності сільськогосподарської продукції. Отже, вплив абіотичних чинників, зумовлений кліматичними змінами, є визначальним у формуванні екологічних ризиків в агроценозах та потребує адаптації системи захисту рослин з урахуванням

фітосанітарного стану посівів сільськогосподарських культур.

Градування рівня екологічного ризику в агрофітоценозах за ступенем їх забур'яненості. Вплив сеgetальних видів бур'янів на агрофітоценози, культурні рослини та довкілля загалом кваліфікується як екологічний ризик. Екологічні ризики для агрофітоценозів обумовлено більшістю адвентивних видів бур'янів, які є сеgetальними або рудеральними рослинами, серед яких переважають види, випадково інтродуковані (аколютофіти) [15]. Стійкість та поширення цих видів значною мірою пояснюється низкою біологічних властивостей, які дають змогу сеgetальній фітобіоті агроценозів протистояти несприятливим умовам довкілля. До таких властивостей належать: висока пластичність розвитку і плодючості, тривалий період зберігання життєздатності насіння та вегетативних зачатків у ґрунті [16].

За шкодочинного впливу сеgetальних рослин, як свідчать праці низки вітчизняних і зарубіжних науковців [1–3; 5; 17], посилюється формування екологічних ризиків в агроценозах. А саме: 1) погіршується водний баланс геобіоценозу, що негативно впливає на розвиток культури в агроценозах; 2) із геобіоценозів виносяться запаси доступних елементів живлення; 3) виділяються у ґрунт вторинні метаболіти, які пригнічують ріст та розвиток культурних рослин; 4) поширюються шкідники агроценозів, які виступають їхнім проміжним живителем та згодом мігрують на суміжні культури; 5) бур'яни, як і їх рештки, постають резерватами інфекційних структур багатьох фітопатогенних збудників хвороб; 6) знижується якість урожаю за рахунок насінневих домішок бур'янів; 7) погіршується якість фуражних кормів та продукції тваринництва.

Отже, бур'яни, як складова агрофітоценозів, вступають у конкурентну взаємодію з культурними рослинами та зумовлюють формування екологічних ризиків. Тому в основі запобігання їхньому утворенню лежить оцінювання фітосанітарного стану агрофітоценозів за ступенем їх

Таблиця 1. Градаційна шкала оцінювання екологічних ризиків в агрофітоценозах за ступенем їх забур'яненості

Забур'яненість агрофітоценозів за агробіологічними підтипами бур'янів, шт./м ²		Чисельність насіння бур'янів, млн шт./га	Рівень екологічного ризику, бал
багаторічні види	малорічні види		
0,1–0,5	1–20	0	1 (мінімальний)
0,51–3,0	21–50	≤5,0	2 (незначний)
3,1–5,0	51–100	5,1–10,0	3 (підвищений)
5,1–10,0	101–150	10,1–50,0	4 (значний)
≥10,1	≥151	50,1–100,0	5 (високий)

Примітка: розроблено авторами на основі методики [14].

забур'янення. Для цього необхідно враховувати видове різноманіття сегетальних бур'янів, які засмічують посіви культур, та екологічні особливості їх шкодочинного впливу.

Для оцінювання рівня екологічного ризику в агрофітоценозах нами розроблено градаційну шкалу залежно від рівня забур'яненості агрофітоценозу та масштабу впливу (табл. 1). В основу градування шкали покладено методики з визначення рівня фактичної забур'яненості і ступеня забур'яненості агроценозів (І. Шувар та ін. [14]). Рівні екологічного ризику градуйовано як: мінімальний рівень ризику (1 бал) — характеризує випадкове або одичне виявлення заносного виду без помітного впливу на агроєкосистему; незначний (2 бали) — зменшення чисельності та екологічного впливу виду; підвищений (3 бали) — досягнення стабільного співіснування з місцевими видами; значний (4 бали) — поступове закріплення виду у фітоценозі; високий рівень екологічного ризику (5 балів) — активне поширення та витіснення аборигенних видів бур'янів.

Екологічні ризики в агроценозах сої за впливу сегетальної фітобіоти. Морфобіологічні властивості більшості сільськогосподарських культур характеризують їхню низьку конкурентоспроможність відносно сегетальної рослинності. Це обумовлено сповільненими процесами росту і розвитку культур на початку онтогенезу. Зокрема, нашими дослідженнями, проведеними у

2016–2020 рр. в лабораторії біоконтролю агроєкосистем і органічного виробництва ІАП НААН доведено, що у посівах сої критичним періодом щодо негативного впливу сегетальних рослин на агроценоз є початковий етап органогенезу культури, який продовжується до фази змикання листків у рядку [13]. Найнебезпечнішими є види сегетальної рослинності, в яких органогенез збігається або випереджає органогенез сої.

Відомо, що в агроценозі сої однією з причин формування екологічних ризиків є потенційне накопичення насіння сегетальної рослинності у ґрунті, яка може спричинити значну загрозу впродовж її вегетаційного періоду [18]. Особливо слабку конкуренцію проявляють рослини сої щодо швидкоростучої сегетальної фітобіоти на початку вегетації. Це спричинено кореневими виділеннями сої, збагаченими на азот та інші сполуки, якими живляться бур'яни.

Тому для з'ясування потенціалу формування екологічних ризиків в агроценозі сої здійснено аналіз динаміки чисельності основних видів бур'янів упродовж 2016–2018 рр. Також за створеною нами градаційною шкалою зроблено оцінювання рівня екологічних ризиків в агроценозах сої впродовж досліджуваного періоду, залежно від видового різноманіття сегетальної фітобіоти у три фази розвитку культури (другого трійчастого листка, цвітіння та формування бобів) (табл. 2).

Таблиця 2. Рівень екологічного ризику в агроценозах сої залежно від чисельності сегетальних бур'янів упродовж 2016–2018 рр. (СДСОВ ІАП НААН)

Вид бур'яну	2016 р.		2017 р.		2018 р.		Середній рівень екологічного ризику, бал
	шт./м ²	екологічний ризик, бал	шт./м ²	екологічний ризик, бал	шт./м ²	екологічний ризик, бал	
<i>Фаза другого трійчастого листка</i>							
Щириця загнута ¹	38,2	2	13,3	1	9,8	1	
Осот рожевий ²	0	1	0,4	1	0	1	
Плоскуха звичайна ¹	80,9	3	86,7	3	56,7	3	
Гірчак березковидний ¹	5,0	1	0	1	0	1	
Мишій сизий ¹	3,1	1	2,6	1	1,8	1	
Лобода біла ¹	2,1	1	7,3	1	3,7	1	
Разом бур'янів, шт.	129,3	4	113,9	4	88,2	3	4
<i>Фаза цвітіння</i>							
Щириця загнута ¹	0	1	4,8	1	3,4	1	
Осот рожевий ²	1,3	2	0	1	0	1	
Плоскуха звичайна ¹	10,7	1	13,0	1	9,0	1	
Гірчак березковидний ¹	12,1	1	0,4	1	0,2	1	
Мишій сизий ¹	4,8	1	3,4	1	2,2	1	
Лобода біла ¹	1,3	1	1,4	1	1,1	1	
Разом бур'янів, шт.	30,2	2	23,0	2	15,9	1	2
<i>Фаза формування бобів</i>							
Щириця загнута ¹	8,1	1	1,1	1	1,2	1	
Плоскуха звичайна ¹	8,2	1	10,2	1	5,3	1	
Мишій сизий ¹	4,4	1	0,2	1	0,2	1	
Лобода біла ¹	2,4	1	1,5	1	0,7	1	
Разом бур'янів, шт.	23,1	2	13,0	1	7,4	1	1

Примітки: ¹ – бур'яни однорічні; ² – бур'яни багаторічні; 1 бал – мінімальний рівень ризику, 2 бали – незначний, 3 – підвищений, 4 – значний, 5 – високий рівень екологічного ризику.

Встановлено, що впродовж досліджуваного періоду (2016–2018 рр.) спостерігається чітка тенденція до зниження загальної забур'яненості у всіх фазах розвитку сої. Наприклад, у фазі другого трійчастого листка загальна кількість бур'янів знизилася від 129,3 шт./м² у 2016 р. до 88,2 шт./м² у 2018 р. Аналогічна тенденція відбувається і в наступних фазах.

Відповідно до зменшення чисельності бур'янів, загальний рівень екологічного ризику також має тенденцію до зниження.

Зокрема, у фазі другого трійчастого листка рівень екологічного ризику погіршився від *значного* (4 бали) у 2016–2017 рр. до *підвищеного* (3 бали) у 2018 р. У фазах цвітіння та формування бобів він зменшився від *незначного* (2 бали) у 2016 р. до *мінімального* (1 бал) рівня у 2018 р.

Незважаючи на загальне зниження кількості бур'янів, деякі види залишаються домінантними впродовж усього періоду. Зокрема, у фазі другого трійчастого листка: плоскуха звичайна (*Echinochloa crus-galli* L.)

є домінантним видом за чисельністю в усіх роках (80,9 шт./м² у 2016 р., 86,7 — у 2017 р., 56,7 шт./м² у 2018 р.), що зумовлює для неї постійний *високий* (3 бали) рівень екологічного ризику. Щириця загнута (*Amaranthus retroflexus* L.) характеризується значним зниженням чисельності від 38,2 шт./м² у 2016 р. до 9,8 шт./м² у 2018 р., що призвело до зменшення рівня екологічного ризику з *незначного* (2 бали) до *мінімального* (1 бал). Інші види, як-от осот рожевий (*Cirsium arvense* L.), гірчак березковидний (*Polygonum convolvulus* L.), мишій сизий (*Setaria glauca* L.), лобода біла (*Chenopodium album* L.), присутні у меншій кількості і постійно мають *мінімальний* (1 бал) рівень екологічного ризику, осот рожевий та гірчак березковидний практично зникли до 2017–2018 рр.

У фазі цвітіння загальна чисельність бур'янів значно нижча, ніж у початковій фазі, що вказує на ефективність контролю або конкуренцію. Плоскуха звичайна й надалі є одним з найпоширеніших видів (10,7–13,0 шт./м²), однак екологічний ризик засміченості агроценозів цим бур'яном залишається на *мінімальному* рівні (1 бал). Чисельність щириці загнutoї, осоту рожевого та лободи білої є відносно невисокою, і для всіх цих видів у цій фазі відмічений *мінімальний* рівень екологічного ризику (1 бал). Загалом рівень екологічного ризику у цій фазі знизився від *незначного* (2 бали) у 2016–2017 рр. до *мінімального* (1 бал) у 2018 р.

У фазі формування бобів загальна забур'яненість є найнижчою серед усіх фаз, що свідчить про подальше зменшення конкуренції з боку бур'янів. Домінантними видами залишаються щириця загнута та плоскуха звичайна, але їхня чисельність також значно знижена (1,1–8,2 шт./м²). Для всіх видів бур'янів у цій фазі фіксується *мінімальний* рівень екологічного ризику (1 бал). У середньому рівень екологічного ризику зменшився від *незначного* (2 бали) у 2016 р. до *мінімального* (1 бал) у 2017–2018 рр.

Отже, рівень екологічного ризику в посівах сої, зумовлений забур'яненістю її

агроценозів, значно знизився впродовж онтогенезу культури в період 2016–2018 рр. — від *значного* рівня (4 бали) до *мінімального* (1 бал). Отримані дані свідчать про ефективний контроль забур'яненості, що виражається у сталому зниженні чисельності бур'янів та відповідному зменшенні екологічного ризику на всіх фазах розвитку культури. Плоскуха звичайна залишається найбільш стійким і домінантним видом бур'янів, особливо на ранніх етапах розвитку сої. Зниження рівня екологічного ризику обумовлено застосованими агротехнологіями, дозволеними в умовах органічного землеробства, які забезпечили регуляцію інтенсивності забур'янення агроценозів та ефективний контроль формування рівня екологічного ризику.

Екологічні ризики збільшення чисельності видів та ареалів розповсюдження сегетальної фітобіоти. Одержані дані підкреслюють вагомість дослідження екологічних ризиків, що виникають внаслідок впливу кліматичних змін на агрофітоценози через призму сегетальної фітобіоти, а також взаємозв'язок між забур'яненістю та фітосанітарним станом посівів. Адже науково доведено, що поширення сегетальних бур'янів та засміченість посівів їхнім насінням цілком залежить від природно-кліматичних умов. Зокрема, у науковій праці С. Окрушко [19] встановлено, що у зоні достатнього зволоження засміченість орного шару ґрунту (0–30 см) насінням бур'янів сягає 1,47 млрд шт./га; у зоні надмірного зволоження — 1,71, а в зоні недостатнього зволоження — 1,14 млрд шт./га. Підвищення температури, періодичність та інтенсивність опадів прискорюють вихід насіння бур'янів зі стану спокою і впливають на їхній розподіл у просторі й часі в агроценозах. Надмірна кількість атмосферних опадів та зменшення площі листової поверхні у фазі досягання культур сприяють збільшенню забур'яненості одно- і багаторічними бур'янами.

Водночас даними В. Шавріної [20], в агроценозах зернових культур Центрального Лісостепу України чисельність бур'янів коливається в діапазоні 19–25 видів,

тоді як на просапних культурах (кукурудза, соняшник, буряк цукровий) видове різноманіття значно вище. Дослідження С. Ременюк [21] для зони недостатнього зволоження (Східний Лісостеп України) показали, що за появи повних сходів соняшника (попередник пшениця) у контролі налічувалось 118 шт./м² бур'янів, з домінуючими дводольними видами (щиряця звичайна, амброзія полинолиста) та меншою кількістю інших видів, включаючи лободу білу, гірчицю польову, гірчак розлогий, беззковидний, паслін чорний, талабан польовий. Серед однодольних були виявлені куряче просо і мишій сизий.

Тому, фітобіотичний моніторинг та оцінювання рівня екологічних ризиків, спричинених зростанням чисельності та ареалу поширення сеgetальної фітобіоти, є критично важливим для своєчасного проведення заходів контролю фітосанітарного стану агроценозів.

Екологічні ризики набуття толерантності сеgetальної фітобіоти агроценозів до дії гербіцидів та погіршення ефективності їхнього застосування за впливу кліматичних змін. Кліматичні умови мають прямий вплив на здатність сеgetальної фітобіоти поглинати хімічні сполуки гербіцидів із навколишнього середовища, що безпосередньо впливає на ефективність дії отрутохімікатів. Збільшення числа нових резистентних біотипів бур'янів під впливом екологічних чинників за умов глобального потепління є зростаючою проблемою. За даними International Survey of Herbicide-Resistant Weed (станом на 2025 р.) у світі зареєстровано 534 резистентних біотици, що виникли із 273 видів рослин [22]. Причиною цього є екологічна пластичність рослин, що проявляється прискореним метаболізмом за підвищення гідротермічних показників температури та випаровування з ґрунту. В адаптованій до стресу (посухи) сеgetальної фітобіоти можуть виникати ризики епігенетичної стійкості до гербіцидів.

Дослідження V. Mohammad та ін. [23] показують, що стрес, спричинений посухою, зумовлює виникнення резистентності

лисохвосту польового до дії гербіцидів, яка передається як епігенетична стійкість наступним поколінням. До того ж підвищена температура сприяє метаболічній детоксикації гербіциду піноксадену, знижуючи чутливість кількох популяцій злакових бур'янів [10].

Збільшення забур'яненості посівів культур (від 60 до 85% за останні десятиліття) [20] пояснюється тим, що нестача або тривала відсутність опадів та нерівномірний розподіл вологи впливають на фізіологію рослин: збільшується кількість воску, потовщується кутикула, зменшується відкривання продохів, уповільнюється ріст. Це створює додатковий бар'єр для проникнення молекул гербіцидів у листки сеgetальної фітобіоти. Посуха може призвести до зниження ефективності післясходових системних гербіцидів, ефективність яких залежить від активного росту рослин, транслокації та розвитку фітотоксичної дії [1]. За нестачі вологи в ґрунті досходові гербіциди можуть слабше поглинатися коренями та втрачати фітотоксичність [24]. Також за нестачі вологи та підвищеної кислотності ґрунту, відмічено негативний прояв післядії гербіциду Євро-Лайтнінг, що зумовлює зниження продуктивності буряків цукрових, гречки і соняшника [25]. Низька відносна вологість ґрунту може зменшувати надходження і транслокацію глюфосинату у тканинах щиряці (*Amaranthus* spp.), знижуючи контроль над бур'яном. В умовах підвищеного вмісту CO₂ (на 350 мкМ/моль) збільшується швидкість росту та порушення співвідношення маси пагона до маси кореня осоту польового, а також зменшується ефективність гліфосату [26]. Це може бути пов'язано зі зниженням концентрації гербіциду внаслідок стимуляції росту коренів.

Отже, під впливом посухи, високих температур та підвищеного вмісту CO₂, можуть виникати екологічні ризики набуття толерантності сеgetальної фітобіоти й погіршення ефективності дії гербіцидів в агроценозах, що вимагає завчасної оцінки та діагностики в польових умовах.

Екологічні ризики втрати конкуренто-спроможності культур агрофітоценозів відносно сегетальної фітобіоти. На фоні швидких кліматичних змін сегетальна фітобіота залишається одним із основних чинників, що стримує підвищення продуктивності агрофітоценозів, оскільки вона відзначається високою пластичністю розвитку та плодючістю, інтенсивною вегетацією та вступає у жорсткі конкурентні відносини з культурами за використання ресурсів екотопу [27]. Завдяки легкій адаптованості до нових ґрунтово-кліматичних умов, карантинні бур'яни, зокрема гірчак повзучий, здатні інтенсивно збільшувати площі поширення. Його висока шкодочинність проявляється висушуванням і виснаженням ґрунту, оскільки він у 2–5 разів більше засвоює поживних речовин і вологи з ґрунту, ніж будь-яка інша рослина [9].

Нестача ґрунтової вологи гальмує низку фізіологічних процесів та біохімічних реакцій у ґрунтовому покриві, що безумовно відображається на адаптивному бар'єрі найбільш вразливих культурних видів [28]. Різкі зміни погодних умов із тривалими бездощовими періодами за наявності бур'янів призводять до висихання орного та підорного ґрунтових шарів агроценозу. В. Писаренко зі співавт. [6] відмічають, що висушування ґрунту зумовлено потужним розвитком кореневої системи бур'янів, швидкістю її розвитку та глибоким проникненням коренів у ґрунт (наприклад, коріння вівсюга звичайного опускається на глибину понад 2 м, осоту рожевого — на 3,5 м).

Гідротермічні умови впливають на конкурентну активність бур'янів із культурами агрофітоценозів, а саме на їхні фізіолого-біохімічні особливості: швидкість початку і проходження періодів онтогенезу, фотосинтетичний метаболізм вуглецю (С3 і С4), алопатичну взаємодію та ін. Більшість культур агроєкосистем здійснюють фотосинтез за С3-циклом, тоді як переважна кількість сегетальної фітобіоти має С4-цикл. Рослини з С4-фотосинтезом добре реагують на короткий світловий день та за достатнього зволоження витримують ви-

сокі температури повітря [7], що надає їм конкурентну перевагу під час тривалих посух. Кліматичні зміни можуть підсилювати поширення ареалів інвазійних бур'янів із С4-циклом у північному напрямку та ослаблення біотичної резистентності аборигенних рослин. Повторюваність спекотних днів може стимулювати у С3-рослин чистий фотосинтез та збільшення градієнта концентрації вуглекислого газу, що надходить із повітря до листків [1].

Отже, під дією несприятливих абіотичних чинників на фітобіоту можуть виникати екологічні ризики втрати конкуренто-спроможності культур відносно сегетальної фітобіоти, що необхідно враховувати за контролю фітосанітарного стану агроценозів.

Тому це обговорення підкреслює багатогранність екологічних ризиків, що виникають в агрофітоценозах в умовах зміни клімату. Ці ризики проявляються у зміщенні ареалів бур'янів, поширенні інвазійних видів, набутті ними резистентності до гербіцидів та зниженні конкурентоспроможності культурних рослин. Усі ці аспекти тісно взаємопов'язані і вимагають комплексного підходу до фітосанітарного моніторингу та управління. Застосування агротехнологій органічного землеробства, як показано у дослідженні, є ефективним інструментом для регуляції інтенсивності забур'янення та зниження екологічного ризику.

ВИСНОВКИ

Зміни абіотичних чинників, зокрема температури повітря та вологості ґрунту, є головними факторами, що обумовлюють екологічні ризики в агроценозах. Вони пов'язані зі зростанням забур'яненості. Основні екологічні ризики включають: поширення інвазійних видів, втрату конкурентоспроможності культур, розширення ареалу бур'янів, зниження врожайності та якості продукції, а також зменшення ефективності гербіцидів через розвиток резистентності сегетальних рослин. Такі зміни ведуть до посилення антропогенного навантаження, оскільки вимагають активнішого застосування засобів захисту

рослин, що створює додаткові екотоксикологічні ризики.

Рівень екологічного ризику у посівах сільськогосподарських культур обумовлено забур'яненістю агроценозів. Зниження екологічного ризику впродовж онтогенезу досягається шляхом використання агротехнологій, що регулюють рівень забур'янення

агроценозів і впливають на їх розвиток. Зниження екологічного ризику в агроценозах можливе завдяки своєчасному екологічному моніторингу та впровадженню комплексу профілактичних, агротехнічних і захисних заходів, спрямованих на підвищення адаптаційної стійкості агрофітоценозів.

ЛІТЕРАТУРА

- Anwar, M. P., Islam, A. M., Yeasmin, S., Rashid, M. H., Juraimi, A. S., Ahmed, S., & Shrestha, A. (2021). Weeds and their responses to management efforts in a changing climate. *Agronomy*, 11(10), 1921. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11101921>.
- Monteiro, A., & Santos, S. (2022). Sustainable approach to weed management: The role of precision weed management. *Agronomy*, 12(1), 118. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12010118>.
- Storkey, J., Mead, A., Addy, J., & MacDonald, A. J. (2021). Agricultural intensification and climate change have increased the threat from weeds. *Global change biology*, 27(11), 2416–2425. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.15585>. Epub 2021.
- Польовий, А. М., & Божко, Л. Ю. (2015). Теплові ресурси України в умовах зміни клімату. *Український гідрометеорологічний журнал*, 16, 99–106. URL: https://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/1332/1/uhmj_16_2015_99.pdf.
- Протопопова, В. В., & Шевера, М. В. (2019). Інвазійні види у флорі України. I. Група високо активних видів. *Geo & Bio*, 17, 116–135. DOI: <https://doi.org/10.15407/gb.2019.17.116>.
- Писаренко, В. М., Писаренко, П. В., Писаренко, В. В., Горб, О. О., & Чайка, Т. О. (2019). Посухи в контексті змін клімату України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 1, 134–146. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VPDAA_2019_1_17.
- Івашенко, О. О., & Івашенко, О. О. (2019). *Загальна гербологія: моногр.* Київ: Фенікс.
- Мостов'як, І. І., & Дем'янюк, О. С. (2020). Чинники дестабілізації фітосанітарного стану агроценозів зернових культур Центрального Лісостепу України. *Збалансоване природокористування*, 2, 73–84. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2020.208812>.
- Кірізій, Д. А., & Стасик, О. О. (2022). Вплив посухи і високої температури на фізіолого-біохімічні процеси та продуктивність рослин. *Фізіологія рослин і генетика*, 54(2), 95–122. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2022.02.095>.
- Matzrafi, M., Seiwert, B., Reemtsma, T., Rubin, B., & Peleg, Z. (2016). Climate change increases the risk of herbicide-resistant weeds due to enhanced detoxification. *Planta*, 244, 1217–1227. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2577-4>.
- Lishchuk, A., Parfenyuk, A., Furdychko, O., Boroday, V., Beznosko, I., Drebot, O., & Karachinska, N. (2024). Ecotoxicological hazard of pesticide use in traditional agricultural technologies. *Journal of Ecological Engineering*, 25(2). DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/177275>.
- Ліщук, А. М., Фурдичко, О. І., Парфенюк, А. І., & Карачинська, Н. В. (2022). Критерії оцінювання екологічних ризиків в агроценозах за впливу абіотичних чинників. *Збалансоване природокористування*, 4, 91–104. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2022.275601>.
- Моклячук, Л. І., Ліщук, А. М., Драга, М. В., Городиська, І. М., Плаксюк, Л. Б., & Терновий, Ю. В. (2020). Перехід від традиційної до екобезпечної органічної системи землеробства в умовах змін клімату: виклики та шляхи вирішення. *Збалансоване природокористування*, 2, 100–109. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2020.208819>.
- Шувар, І. А., Гудзь, В. П., Шувар, А. М., Крушинський, О. П., Корчинський, І. О., Мазур, І. Б., ... Мойш, Н. І. (2011). *Еколого-гербологічний моніторинг і прогноз в агроценозах: навч. посіб.* (І. А. Шувар, Ред.). Львів: НВФ «Українські технології».
- Ткач, Є. Д., Шерстобоева, О. В., Шавріна, В. І., Стародуб, В. І., Довгич, К. І., Гончаренко, Г. Є., ... Богословська, М. Б. (2018). *Фітобіотичне різноманіття природних фітоценозів агроландшафтів України: моногр.* Київ.
- Кривенко, А. (2018). Видовий склад бур'янів та їх біологічні групи у короткоротаційних сівознах Південного Степу України. *Молодий вчений*, 8(60), 13–17. URL: <https://molodyivchenyi.ua/index.php/journal/article/view/4103/4034>.
- Тітаренко, О. М. (2021). *Еколого-фітоценотична оцінка природних кормових угодь в умовах техногенного навантаження Лісостепу Правобережного. Вінниця: Твори.*
- Огурцов, Є. М., & Белінський, Ю. В. (2013). Забур'яненість посівів сої залежно від способів основного обробітку ґрунту в східній частині Лівобережного Лісостепу. *Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва. Серія: Рослинництво, селекція і насінництво, плодовоовочівництво*, 9, 247–252. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhnau_roslyn_2013_9_39.
- Okrushko, S. Y. (2021). Control of weeds in agropyrenoses of sowing peas. *Colloquium-journal*, 7(94),

- 32–36. DOI: <https://doi.org/10.24412/2520-6990-2021-794-32-36>.
20. Шавріна, В. І. (2018). Сегетальна фітобіота основних агроценозів Центрального Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*, 1, 150–154. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2018.161591>.
21. Ременюк, С. (2017). Проблеми засміченості посівів соняшнику: рішення в гербіцидах. *Пропозиція*, 6. URL: <https://propozitsiya.com/ua/problemizaburyanennya-positviv-sonyashniku>.
22. Current Status of the International Herbicide-Resistant Weed Database. URL: <https://www.weedscience.org/Home.aspx>.
23. Mohammad, V. H., Osborne, C. P., & Freckleton, R. P. (2022). Drought exposure leads to rapid acquisition and inheritance of herbicide resistance in the weed *Alopecurus myosuroides*. *Ecology and Evolution*, 12(2), e8563. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.8563>.
24. Zhou, J., Tao, B., Messersmith, C. G., & Nalewaja, J. D. (2007). Glyphosate efficacy on velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) is affected by stress. *Weed Science*, 7(55), 240–244. DOI: <https://doi.org/10.1614/WS-06-173.1>.
25. Борзих, О., Сергієнко, В., & Сторчоус, І. (2022). Дослідження післядії гербіцидів на основні сільськогосподарські культури. *Вісник аграрної науки*, 100(4), 30–40. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202204-04>.
26. Ziska, L. H., & McConnell, L. L. (2016). Climate change, carbon dioxide, and pest biology: monitor, mitigate, manage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(1), 6–12. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf506101h>.
27. Міленко, О. Г., Горячун, К. В., Звягольський, В. В., Козинко, Р. А., & Карпінська, С. О. (2020). Ефективність застосування ґрунтових гербіцидів у посівах кукурудзи на зерно. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 2, 72–78. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.02.09>.
28. Смирнова, С., Смирнов, В., & Бабушкіна, Р. (2019). Концепція ґрунтової біогеосистеми. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка*, 4(87), 81–88. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.87.12>.

Стаття надійшла до редакції журналу 05.03.2025

ЕКОЛОГІЧНИЙ ВПЛИВ ТА АГРОНОМІЧНА ЦІННІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БІОПРЕПАРАТУ КОМПОНАЗА ДЛЯ КОМПОСТУВАННЯ ГНОЮ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ

М.В. Якимович¹, О.В. Тертична^{1,2}, В.О. Пінчук¹

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

e-mail: m.yakimovich13@gmail.com; ORCID: 0009-0000-0632-4995

e-mail: pinchuk_yo@ukr.net; ORCID: 0000-0003-0646-1580

e-mail: olyater@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9514-2858

²Інститут сільськогосподарської мікробіології та аграрного виробництва НААН
(м. Чернігів, Україна)

Досліджено вплив інтродукції мікроорганізмів у складі біопрепарату Компоназа, а саме гриби роду *Trichoderma viride*, *Trichoderma harzianum*, життєздатні бактерії *Bacillus subtilis*, асоціація нафтоокислюваних мікроорганізмів *Rodex*, *Azotobacter chroococcum*, *Enterobacter*, *Enterococcus faecium*, на процес аеробного компостування підстилкового гною великої рогатої худоби, за використання аератора з аплікатором. Доведено, що застосування препарату Компоназа в процесі компостування, стабілізує летючі сполуки аміаку в компості з подальшим перетворенням їх у нітрити та нітрати. Зменшено неприємний запах, компост утворюється без втрат енергії, відбувається переведення макро- і мікроелементів у доступну для рослин форму. Забезпечено збагачення компосту корисними мікроорганізмами, що сприяє прискореному формуванню гуміфікованого субстрату. Цей біопрепарат бере участь у різних фазах компостування, має вплив на терміни зігрівання сировини, а також на якість вихідного матеріалу-компосту. З'ясовано, що за використання біопрепарату, підстилковий гній мав вищу інтенсивність деструкції та перетворення вуглецевого компоненту, а також кращу однорідність та структуру вихідного матеріалу. Зафіксовано найвищі рівні забезпечення готового компосту доступними формами елементів. Дослідний варіант із біопрепаратом показав високий вміст доступних елементів за результатами агрохімічного аналізу в середньому на 20%, оптимальні рівні органічної речовини та золи. Встановлено, що інокуляція вхідного матеріалу комплексом мікроорганізмів під компостування, має вплив на перебіг фаз компостування та якість отриманого компосту. Компост, отриманий за такого способу, мав позитивну післядію на врожайність, що додатково дало змогу зменшити норми внесення на гектар. До того ж цінність компосту можна корегувати інтродукцією в нього корисних мікроорганізмів безпосередньо в готове органічне добриво. Такі практики відомі й використовуються за технології холодного пресування-виготовлення гранул у комбінації з технологічними рішеннями *Strip-till*. Серед не вирішених питань є недостатня обізнаність про специфіку технології компостування різних побічних продуктів, складність у масштабуванні технології, у країнах, що розвиваються, потреба в уніфікованих стандартах якості, недостатня пропаганда екологічної культури серед виробників тваринницької продукції, вивчення впливу препаратів на основі асоціацій мікроорганізмів, на якість, агрономічну цінність компосту, а також екологічні наслідки його застосування потребують більш поглиблених досліджень.

Ключові слова: побічна продукція тваринництва, мікроорганізми, загальний азот, аміак, нітрати, нітрити, органічне добриво, органічна речовина, родючість, ґрунт.

ВСТУП

Компостування побічної продукції тваринництва є важливою складовою екологічного управління відходами в Європі та інших країнах світу. Цей процес дає мож-

ливість переробляти побічну продукцію тваринництва, таку як гній, залишки кормів, підстилку, елементи забійного цеху, дигестати та інші біологічні матеріали в цінне органічне добриво. Наразі у світі компостування стає дедалі більш поширеним

завдяки зростаючій усвідомленості щодо екологічного вектора сталого розвитку та мінімізації негативного впливу на довкілля. Наприклад, у США та Канаді активно розвиваються державні ініціативи, що спонукають агровиробників застосовувати методи біологічної переробки. Важливість біологічної переробки побічної продукції тваринництва, зумовлена екологічними нормами, які Україна взяла на себе в рамках інтеграції у законодавче поле ЄС. Дослідження компостування зосереджені на вдосконаленні технологій, підвищенні екологічної ефективності та адаптації методів до різних умов. Цей науковий напрям є перспективним для подальшого вивчення, особливо в контексті глобальних викликів зміни клімату та деградації ґрунтів. Пошук наукових підходів до впровадження ефективних та безпечних методів утилізації побічної продукції з метою виробництва органічних добрив є надзвичайно актуальним із позицій циркулярної економіки.

Принципи регенеративного сільського господарства покликані зберегти баланс органічної речовини ґрунту, мінімізувати вплив на довкілля та запобігти деградації ґрунтів. Ефект від внесення органічних добрив важко переоцінити і для підвищення врожайності культур, і для збереження родючості ґрунту. З огляду на це, компостування побічної продукції тваринництва є важливим засобом, оскільки допомагає не тільки ефективно переробити, а й отримувати цінне органічне добриво [1; 2].

Метою роботи є дослідження інтродукції комплексу мікроорганізмів біопрепарату Компоназа на процес аеробного компостування побічної продукції підстилкового гною великої рогатої худоби та агрохімічні показники компосту.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У сучасних міжнародних наукових дже-релах висвітлено низку технологічних підходів до компостування побічної продукції тваринництва. Дослідження показали, що

компостування може зменшити кількість патогенів у вихідній сировині-компості, покращити структуру та родючість ґрунту. Має важливе екологічне значення, яке пов'язано з трансформацією летучих сполук аміаку, з подальшим перетворенням їх у нітрати та нітрити. Аміак, що виділяється з білків та інших азотовмісних сполук може зв'язуватися з водою в ґрунті й утворювати амоній (NH_4^+), який є доступним для рослин. Окислення нітритів (NO_2^-) до нітратів (NO_3^-), які є більш стабільною формою азоту, легко засвоюються рослинами. Свідченням цих фактів є дослідження в США та Європі, що підтверджують ефективність компостування для зменшення викидів парникових газів та поліпшення екологічної ситуації. US EPA (Агентство з охорони навколишнього середовища), проведено численні досліди, що демонструють переваги компостування, включаючи зниження обсягу відходів, збереження ресурсів та покращання якості ґрунтів. За їхніми даними, компостування скорочує обсяги викидів метану в атмосферу [3]. У наукових статтях, опублікованих MDPI – Publisher of Open Access Journals висвітлено переваги компостування щодо підвищення родючості ґрунтів, поліпшення структури ґрунту та зменшення потреби в хімічних добривах [4]. Результати спільних праць вчених M. Waqas, S. Hashim, U.W. Humphries, S. Ahmad, R. Noor, M. Shoaib, A. Naseem, P.T. Hlaing, H.A. Lin з Faculty of Natural and Agricultural Science North-West University (Південно-Африканська Республіка) та Department of Microbiology, Faculty of Science, Obafemi Awolowo University (Нігерія) доводять, що керування процесом компостування, а саме вплив на процес та дотримання рецептури вхідного матеріалу, додавання спеціально розроблених сумішей бактерій, грибів та інших мікроорганізмів, стимулюючих процеси перетворення органічної речовини, допомагає підвищити поживні якості вихідної сировини – компосту [5]. У звітах про сталий розвиток Комісії ЄС, підкреслено важливість компостування, як частини циркулярної економіки. Компос-

тування дає можливість знизити викиди парникових газів і зменшити екологічне навантаження [6]. Слід зазначити, що наразі дослідження компостування активно розвиваються, адже цей процес є ключовим для сталого управління органічними відходами, покращання якості ґрунтів та зменшення впливу на довкілля. Аналіз сучасних публікацій дає змогу виділити кілька основних напрямів, які домінують у цій сфері. Передусім значна увага приділяється корекції технології компостування. Аеробні методи переробки з додавання *Bacillus licheniformis* до свинячого гною, у дослідженнях Ó.J. Sánchez, D.A. Ospina, S. Montoya довели зниження вмісту аміаку на 40% і скорочення часу компостування на 25% [7]. Анаеробні методи, як-от ферментація в біогазових установках, аналізувались Г.Г. Гелетухою [8] насамперед як спосіб виробництва біогазу. По-друге, увагу зосереджено на якості вихідного матеріалу. Проведено аналіз впливу сировини (харчові відходи, гній, садові залишки) на вміст поживних речовин, як-от азот, фосфор і калій, а також на присутність шкідливих домішок, наприклад важких металів. У Європі, широко запроваджується сертифікація компосту, що гарантує його безпечність і відповідність стандартам для сільського господарства [9]. І наостанок, це екологічні аспекти процесу біокомпостування, а саме компостування розглядається як альтернатива спалюванню чи захороненню відходів, що зменшує викиди парникових газів. Співробітниками лабораторії екології тваринництва Інституту агроєкології і природокористування НААН В.О. Пінчуком, Ю.В. Подобою, О.В. Тертичною, О.І. Мінераловим та В.І. Дешко розроблено методичні рекомендації щодо екологічно безпечних технологій переробки побічної продукції тваринного походження з отриманням органічних добрив [10]. Збалансований розвиток галузі тваринництва потребує раціонального використання поживних речовин із мінімізацією забруднення довкілля відходами виробництва. Необхідною умовою для розвитку галузі тваринництва згідно з вимогами ЄС є дотримання балан-

су між нарощуванням виробництва екологічно безпечної продукції та утилізацією відходів [11]. Праці Yong Ju Kim, Sung Bo Cho, Min Ho Song, Sung Il Lee, Won Yun, Ji Hwan Lee, Han Jin, Se Yeon Chang [12; 13] свідчать, що правильно організований процес може скоротити викиди метану на 30–40%. Мікроорганізми додані під час процесу компостування, фіксують азот з атмосфери або окислюють аміак до більш засвоєваних рослинами азотистих форм. Також існує кілька стратегій збереження азоту під час компостування. Розглядається додавання фосфору та використання мікроорганізмів, які мобілізують фосфор і калій. Визначено основні групи мікроорганізмів, що мають відношення до процесу компостування, а також проведено їх ідентифікацію. Загалом, розробка таких біодобавок, збагачених поживними речовинами, потребує додаткових досліджень не лише з точки зору процесу компостування. Важливість напрацювань N. Ribeiro, T.P. Souza, L.M. Cost, C.P. de Castro, E.S. Dias [14] полягає у виділенні та ідентифікації мікроорганізмів, які дають змогу розщеплювати та перетворювати азотисті речовини та матеріали, що містять калій і фосфор у сировину, яка проходить процес компостування. Науковці Інституту сільськогосподарської мікробіології та аграрного виробництва НААН В.В. Волкогон, С.М. Дімова, С.В. Деркач, Н.В. Луценко, М.В. М'ягка та ін. [15] встановили роль інтродукції асоціації *Trichoderma harzianum* у технології біокомпостування органічної речовини на основі пташиного посліду. Серед невирішених проблем є недостатня обізнаність про технології компостування різних матеріалів, складність у масштабуванні технології, у країнах, що розвиваються, потреба в уніфікованих стандартах якості, недостатня пропаганда екологічної культури серед виробників тваринницької продукції, вивчення впливу препаратів на основі асоціації мікроорганізмів, на якість, агрономічну цінність компосту, а також екологічні наслідки його застосування потребують більш поглиблених досліджень.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріали досліджень: побічна продукція молочно-товарної ферми (підстилковий гній великої рогатої худоби), біопрепарат Компоназа, компост.

Методи досліджень: агрохімічні — лабораторний аналіз компосту на вміст сухої речовини, органічної речовини, загальних форм вуглецю, нітрогену, фосфору, калію, мінерального нітрогену (аміачний, нітратний), рН (ДСТУ ISO 10694-2001, ДСТУ 7926:2015, ДСТУ 7923:2015) [16]. Використано методи математичної статистики.

Першим етапом досліджу було виробництво компосту (рис. 1, пункт 1–7 структурної схеми).

Дослідження проводились на виробничому майданчику зберігання та переробки компостування підстилкового гною вели-

кої рогатої худоби дослідного господарства, де було застосовано і апробовано спосіб впливу на процес гною за технологією аеробного компостування комплексним біопрепаратом Компоназа, виробництва ПП «БТУ-Центр», у нормі 0,25 л/т гною, шляхом внесення через аплікатор самохідного аератора, під час першої аерації бурта. Препаративна форма препарату — рідина. До складу біопрепарату входять: гриби роду *Trichoderma*, життєздатні бактерії *Bacillus subtilis*, асоціація мікроорганізмів *Rodex*, *Azotobacter chroococcum*, *Enterobacter*, *Enterococcus faecium* та ін. Ці мікроорганізми мають такі властивості: бактерії-антагоністи патогенних для рослин грибів та бактерій; фосфор та каліймобілізувальні ґрунтові бактерії, природні ендоситні й ґрунтові азотфіксувальні бактерії; продукують ферменти для розкладання клітко-

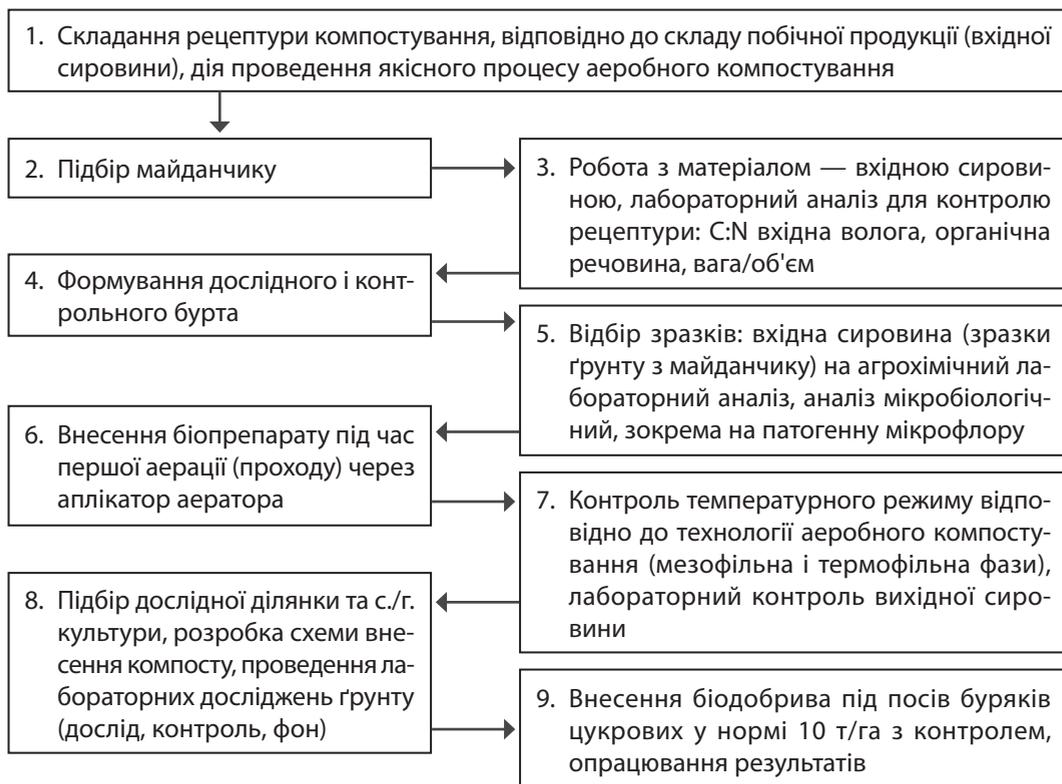


Рис. 1. Структурно-логічна схема етапів компостування підстилкового гною великої рогатої худоби

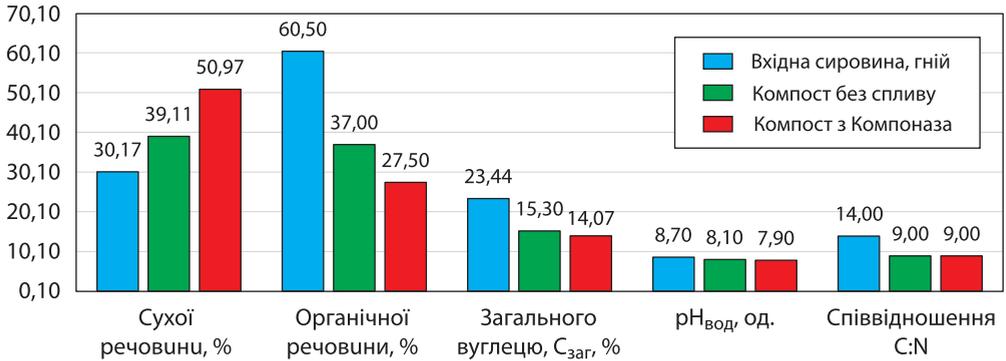


Рис. 2. Вплив біопрепарату Компоназа на агрохімічні показники побічної продукції великої рогатої худоби (ч. 1)

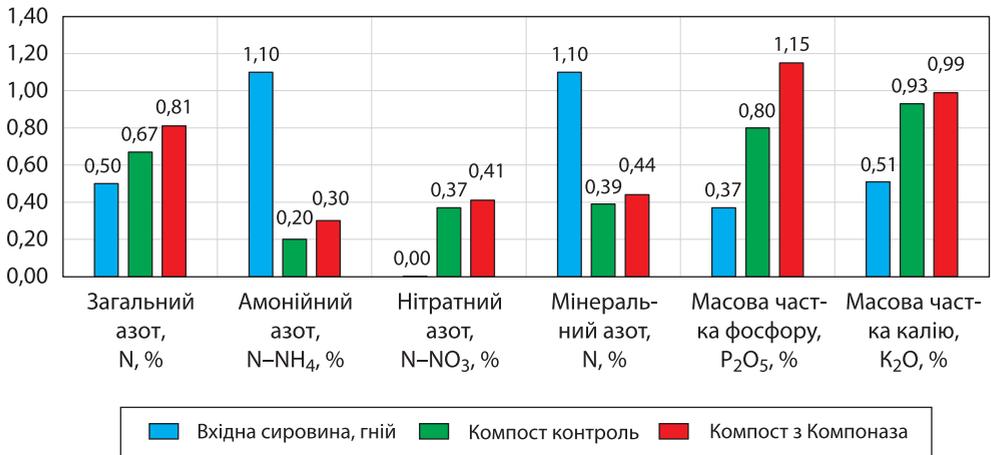


Рис. 3. Вплив біопрепарату Компоназа на агрохімічні показники побічної продукції великої рогатої худоби (ч. 2)

вини, пектинів, лігніну. Продуктами метаболізму мікроорганізмів є біофунгіциди, полісахариди, фітогормони, вітаміни, амінокислоти.

Дослідження було здійснено за такими варіантами:

- *Контроль*: компост.
- *Варіант 1*: гній великої рогатої худоби (вихідна сировина).
- *Варіант 2*: компост з додаванням біопрепарату Компоназа.

Сировина (гній великої рогатої худоби) була інокульована біопрепаратом Компоназа за використання аплікатора само-

хідного аератора на першій аерації. Було проаналізовано агрохімічні показники за вищенаведеними варіантами досліджень.

Результати візуалізовано на *рис. 2* та *рис. 3*.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На відміну від різних побічних продуктів тваринництва гній великої рогатої худоби має специфічні особливості: високий вміст води (до 80–85%), значна частка грубих волокон (залишки соломи, сіна) і відносно низьке співвідношення вуглецю

до азоту (C/N, зазвичай 15–20:1), що потребує відповідного підходу до процесу компостування.

Водночас, гній великої рогатої худоби багатий на органічні речовини, але його переробка природним шляхом може бути тривалішою, через щільність і вологість. Без належної аерації він схильний до анаеробного бродіння, що супроводжується виділенням метану та неприємного запаху.

У результаті переробки кінцевий продукт — компост має вищі показники поживності, що свідчить про ефективність використання біопрепарату Компоназа за компостування гною великої рогатої худоби. У дослідному варіанті спостерігався ріст рівня доступних форм NPK до 20%, за даними агрохімічного аналізу (див. *рис. 2; 3*), порівняно з контролем, до 20%. Рівень нітратного азоту був вищий на 10,8% порівняно з контролем.

Отримані показники дослідження доводять, що комплексний біопрепарат прискорює розпад органічних сполук, забезпечує знезараження кінцевого продукту-компосту, сприяє усуненню неприємного запаху. Використання комплексного біопрепарату Компоназа допомагає значно покращити санітарний стан майданчиків компостування.

Результати досліджень, одержані в експерименті під час компостування на майданчиках (див. *рис. 2; 3*), вказують на те, що спостерігається інтенсифікація процесу розкладання органічної речовини, етапи розпаду субстратів посилюються, консорціум мікроорганізмів швидко розкладає розчинні компоненти, як-от прості цукри і вуглеводи. Запаси цих речовин швидко виснажуються, мікроорганізми починають розкладати більш складні молекули, як-от целюлоза, геміцелюлоза і білки. Після споживання цих речовин мікроорганізми виділяють комплекс органічних кислот, які є джерелом енергії для інших мікроорганізмів. Однак не всі органічні кислоти, що утворюються, встигають поглинатися. Це призводить до їх надмірного накопичення та до зниження рН середовища, що спричи-

нило зростання кількості мікроорганізмів і метаболізму, а також підвищення температури. Коли температура підвищується до 40°C і вище, мезофільні мікроорганізми заміщуються більш стійкими до високих температур — термофілами. Під час досягнення температури 55°C більшість патогенів людини і рослин гине. Втім, якщо температура перевищить 65°C, загинуть і аеробні термофіли компостної купи. Завдяки високій температурі відбувається прискорений розпад білків, жирів і складних вуглеводів типу целюлози і геміцелюлози — основних структурних компонентів рослин. У результаті вичерпання харчових ресурсів обмінні процеси йдуть на спад, і температура поступово знижується. Внаслідок падіння температури до мезофільного діапазону в компостній купі починають домінувати мезофільні мікроорганізми. Температура є найкращим індикатором настання стадії дозрівання. У цій фазі органічні речовини, що залишилися, утворюють комплекси. Цей комплекс органічних речовин стійкий до подальшого розкладання і називається гуміновими кислотами або гумусом.

Слід зазначити, що через відсутність життєздатного насіння бур'янів у компості усунули його розповсюдження на поля і відповідно знизили ймовірне гербіцидне навантаження на ґрунт у перспективі. Також покращено фітосанітарний стан посівів культурних рослин через знезараження вихідної сировини — компосту від збудників хвороб, шкідників та карантинних видів рослин. Інтродукція мікроорганізмів допомагає прискорити розкладання органічних компонентів; знизити втрати азоту у вигляді аміаку, знезаразити масу від патогенів (наприклад, *E. coli*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus*), які часто присутні у гної, поліпшити структуру та поживність компосту для подальшого використання як добрива. Компостування зменшує негативне навантаження на довкілля і прискорює переробку побічної продукції тваринництва: запобігає накопиченню побічної продукції на майданчиках, знижує викиди метану та негативний вплив на ґрунтові

води. Отримане органічне добриво (компост) підвищує родючість ґрунту, покращує його структуру що впливає на водоутримувальну здатність, і є особливо важливим в умовах зміни клімату. Використання компосту сповільнює норми використання мінеральних добрив, що має вплив на збалансованість агропродукції.

Трансформація летючих сполук аміаку (ЛСА) під час компостування є важливим процесом, який має значний екологічний вплив. Аміак (NH_3) є однією з основних газоподібних форм азоту, яка може виділятися під час розкладання органічних матеріалів.

В екологічному аспекті слід врахувати дослідження, проведені в лабораторії екології тваринництва ІАП НААН. Висвітлено, що тваринницькі господарства спричиняють високі показники викидів аміаку і парникових газів (NH_3 , NO_x і N_2O) із систем зберігання і використання гною та сільськогосподарських угідь (16,3–1456,4 кг/га/рік). На 1 т приросту живої маси телят у повітря викидається 132,4 кг NH_3 , NO_x і N_2O ; на 1 т виробленого молока корів – 7,6 кг [17].

На нашу думку, інокуляція вхідної сировини компосту біопрепаратом зі спеціально підібраним комплексом мікроорганізмів, дає можливість трансформувати більшу кількість аміаку в менш летючі форми, як-от нітрати (NO_3^-) або амоній (NH_4^+). Це не лише зменшує викиди аміаку, а й покращує доступність азоту для рослин. Зниження викидів летючих сполук азоту в атмосферу, позитивно впливає на якість повітря. Секвестрація вуглецю в процесі компостування дає змогу фіксувати вуглець, зменшуючи викиди парникових газів. Зниження викидів аміаку і нітратів у водні системи допомагає зменшити евтрофікацію водойм, що покращує екологічний стан гідробасейну та якість води.

Отже, результати досліджень дають підстави стверджувати, що отриманий компост має низьку беззаперечних переваг перед удобренням гноєм. У підсумку розкладання органічних речовин мікроорганізмами, утворюється гуміфікований субстрат,

збагачений корисною мікрофлорою, азотом, калієм, фосфором, мікроелементами, вміст яких значно більший. Позитивними наслідками від використання компосту, як добрива для ґрунту є поліпшення біологічних, хімічних і фізичних властивостей, зниження його мінералізації та накопичення органічної речовин, збереження поживних елементів, доступність цих елементів для рослин.

Додатково слід зазначити перспективи розвитку напряму біологічної переробки залежать від діючих нормативно-правових вимог до компостування. Розробка та вдосконалення технологій компостування, включаючи автоматизацію процесу, може посилити його ефективність. Дослідження впливу компосту на біорізноманіття ґрунтових організмів та об'єкти довкілля має велике значення для формування екологічної культури серед агровиробників, а саме проведення інформаційних заходів для підвищення обізнаності про переваги компостування, навчання новим технологіям. Розвиток напряму компостування побічної продукції тваринництва має перспективи до розвитку. Впровадження біотехнологічних підходів для покращання мікробіологічних процесів також відкриває нові можливості поліпшення якості вихідного матеріалу-компосту як системного органічного добрива. Компостування побічної продукції тваринництва є важливим елементом сталого розвитку аграрного сектору. Завдяки дослідженням і введенню новітніх технологій можна збільшити ефективність біологічної переробки, яка буде мати дієвий позитивний вплив на економічні та екологічні показники.

ВИСНОВКИ

Тому, інокуляція вхідної сировини, а саме додавання груп мікроорганізмів у складі біопрепарату Компоназа під час аеробного компостування побічної продукції тваринництва великої рогатої худоби значно підвищує ефективність процесу біопереробки побічної продукції, дозволяючи отримати високоякісний компост. Внесення біопрепарату Компоназа до компосту

сприяло росту рівня доступних форм NPK до 20%, що є підтвердженням перспективності завдяки біопрепарату Компоназа за переробки гною великої рогатої худоби. Використання компосту в землеробстві дасть можливість зменшити залучення хімічних добрив та пестицидів, застосування

яких має негативні екологічні наслідки. Водночас зменшується емісія парникових газів, покращується фітосанітарний стан ґрунту, знижується забур'яненість, що свідчить про ефективність використання біопрепарату за компостування гною великої рогатої худоби.

ЛІТЕРАТУРА

1. Писаренко, В. М., & Писаренко, П. В. (2022). *Органічні добрива на захисті родючості ґрунту*. Полтава: Полтавське товариство сільського господарства.
2. Журавель, С. В., Кравчук, М. М., Кропивницький, Р. Б., Клименко, Т. В., Трембіцька, О. І., Радько, В. Г. ... Поліщук, В. О. (2020). *Органічні добрива: навч. посібн.* (С. В. Журавель, Ред.). Житомир: Вид-во Поліського ун-ту.
3. Impacts of Sending Food and Other Organic Materials to Landfills. URL: <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/composting#benefits>.
4. Ayilara, M. S., Olanrewaju, O. S., Babalola, O. O., & Odeyemi, O. (2020). Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. *Sustainability*, 12(11), 4456. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12114456>.
5. Waqas, M., Hashim, S., Humphries, U. W., Ahmad, S., Noor, R., Shoaib, M. ... Lin, H. A. (2023). Composting Processes for Agricultural Waste Management: A Comprehensive Review. *Processes*, 11(3), 731. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11030731>.
6. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions, Brussels (30.11.2022). URL: https://environment.ec.europa.eu/system/files/2022-12/COM_2022_682_1_EN_ACT_part1_v4.pdf.
7. Sánchez, Ó. J., Ospina, D. A., & Montoya, S. (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Manag.*, 69, 136–153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.012>.
8. Гелетуха, Г. Г. (2020). *Ринкове дослідження можливостей використання дигестату в Україні*. Слайд 1–10. [Відео]. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/05/geletukha-uabio-saf-seminar-digestat-2020.pdf>.
9. Compost Certification and use for organic farming. URL: https://www.phosphorusplatform.eu/images/download/Meeting-organic/11-Leifert-ECN-ESPP-IFOAM-12_12_17.pdf.
10. Пінчук, В. О., Подоба, Ю. В., Тертична, О. В., Дешко, В. І., & Мінералов, О. І. (2023). *Екологічно безпечні технології переробки побічної продукції тваринного походження з отриманням органічних добрив: методичні рекомендації*. Київ: ДІА. URL: <https://www.researchgate.net/publication/381188049>.
11. Бородай, В. П., Пінчук, О. В., & Тертична, О. В. (2017). Перспективні напрями екологічних досліджень у галузі тваринництва. *Агроекологічний журнал*, 2, 44–48. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220105>.
12. Компостування — як альтернатива спалюванню сухої рослинності та опалого листя. URL: <https://chernigiv.dei.gov.ua/post/571>.
13. Yong, Ju Kim, Sung, Bo Cho, Min, Ho Song, Sung, Il Lee, Won, Yun, Ji, Hwan Lee, & Jin, Ho Cho. (2022). Effects of different *Bacillus licheniformis* and *Bacillus subtilis* ratios on nutrient digestibility, fecal microflora, and gas emissions of growing pigs. *Journal of Animal Science and Technology*, 64(2). DOI: <https://doi.org/10.5187/jast.2022.e12>.
14. Ribeiro, N., Souza, T. P., Cost, L. M., de Castro, C. P., & Dias, E. S. (2017). Microbial additives in the composting process. *Sciens. agrotec.*, 41(2), 159–168. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-70542017412038216>.
15. Волкогон, В. В., Дімова, С. М., Деркач, С. В., Лупенко, Н. В., М'яка, М. В., Штанько, Н. П., & Халеп, Ю. М. (2015). *Технологія біокомпостування органічної речовини на основі пташиного посліду за інтродукції асоціації *Trichoderma harzianum*: практичні рекомендації*. Чернігів.
16. ДСТУ 7863:2015. Визначення легко гідролізованого азоту методом Корнфілда. Якість ґрунту. (2015). [Чинний від 2016-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/7863/5-1-0-1777>.
17. Pinchuk, V., Kryvokhyzha, Y., & Tertychna, O. (2022). Ecological assessment of the nitrogen budgets of livestock production systems in Ukraine. *Агро-екологічний журнал*, 4, 45–52. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2022.273248>.

Стаття надійшла до редакції журналу 28.02.2025

УТВОРЕННЯ БІОПЛІВКИ НА КОРЕНЯХ СІЛЬСЬКО-ГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР МІКРООРГАНІЗМАМИ-АГЕНТАМИ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОГО ДОБРИВА DIAMOND GROW МАРКИ HUMİ [K] BIO + «PLUS»

А.А. Бунас, В.В. Дворецький, Є.Д. Ткач, О.В. Шерстобоєва

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

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

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

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

e-mail: ovsher@ukr.net; ORCID: 0000-0001-8239-0847

Мікробіом ґрунту сільськогосподарських культур є ключовим компонентом агроєко-систем, що впливає на ріст, розвиток та стійкість рослин агроценозу. Всі взаємодії рослина–мікроорганізми не є випадковими, а – результат тривалої коєволюції, що часто призводить до асоціацій, у яких господар (рослина) та його мікробіота співпрацюють у взаємовигідний спосіб. Формування біоплівки – це стратегія, що викорис-товують мікроорганізми для стабільної колонізації поверхні кореня рослин. Біоплівки складаються з мікроорганізмів, упроваджених у самостійно вироблений позаклітинний матрикс, який забезпечує захист від стресів навколишнього середовища та імунних реакцій рослин. Дослідження здатності мікроорганізмів до утворення біоплівки та адгезії на коренях рослин є одним з елементів формування мікробіому сільськогосподар-ських рослин за дії біопрепаратів, окремих штамів чи багатокомпонентних композицій ґрунтових мікроорганізмів. Розуміння процесу утворення біоплівки на коренях рослин дає можливість прогнозувати та розробляти стратегії взаємодії між рослинами і мікроорганізмами для пом'якшення абіотичного стресу, а саме посухи, засолення та забруднення важкими металами і формування сталих продуктивних агроєко-систем. У процесі дослідження встановлено, що рівень утворення та сформованості біоплівки на коренях проростків тест-культур істотно залежав від видової належності рослин, і менше залежав від концентрації застосованого ОМД DG H[K]B «Plus». Через 48 год дослідження на коренях усіх досліджуваних тест-культур відмічали формування біо-плівок, але з різним рівнем сформованості. Виявлено, що і найнижчу щільність біоплівки демонстрували тест-культури родини Fabaceae, найвищу – Роасае. У результаті до-слідження виявлено, що інтенсивність утворення біоплівки та мікробної адгезії змен-шувалась у такій послідовності: кукурудза > пшениця > ячмінь > помідори > перець > огірки > кабачки > горох посівний > нут > горох овочевий > квасоля.

Ключові слова: адгезія, корені, ґрунт, мікробіом, угруповання мікроорганізмів, консорції.

ВСТУП

Мікробіом сільськогосподарських рос-лин – це складне і динамічне угрупован-ня бактерій, мікроміцетів та археїв, які за-селяють філо й ризосферу рослин. Саме угруповання мікроорганізмів відіграють ключову роль в онтогенезі та стійкості рослин до стресів. Однак рослина зали-шається центральним ядром у консорції рослина–мікроорганізми, яка визначає

заселеність кореневої зони, структуру і функціонування мікробіому. Це пов'язано з метаболізмом і складом корневих виді-лень рослини, будовою кореневої системи, її активністю, тривалістю онтогенетичних періодів.

Всі взаємодії рослина–мікроорганізми не є випадковими – це результат тривалої коєволюції, що часто призводить до асо-ціацій, у яких господар (рослина) та його мікробіота співпрацюють у взаємовигід-ний спосіб [1]. Нещодавно в науковій лі-

тературі опубліковано дані, які вказують на випадки крайньої залежності рослин-господарів від мікробіому до повної відсутності будь-якої взаємодії з певною мікробіотою [2–4].

Однак, перший етап у встановленні взаємодії між мікроорганізмами та рослиною є адгезія мікроорганізмів до коренів рослин. Цей процес включає слабкі гідрофобні й електростатичні взаємодії, що можуть переходити у більш стійке прикріплення, індуковане специфічними сигналами навколишнього середовища та рослиною господаря [5]. Наступним етапом цієї взаємодії є експресія генів, відповідальних за синтез екзополісахаридів із подальшим утворенням біоплівки. Утворені біоплівки мають вигляд слизових складноорганізованих оболонок навколо коренів, які забезпечує довготривале та сприятливе середовище не лише для прикріплення мікроорганізмів до рослин, а й їх існування [6].

З огляду на це, **метою нашого дослідження** було виявлення здатності до утворення біоплівок на коренях різних сільськогосподарських культур мікроорганізмами агентами органо-мінерального добрива Diamond grow марки Humi [K] Bio + «Plus», як одного з показників ефективності формування штучного мікробіому.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В явищі адгезії мікроорганізмів інтродукованих чи аборигенних до коренів рослин виділяють чотири основних етапи: початковий (хемотаксис), незворотна адгезія, формування біоплівки, консорція мікроорганізми–рослина.

Відомо, що такі мікроорганізми, як *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Agrobacterium* та *Rhizobium*, спочатку наближаються до коренів рослин завдяки хемотаксису, відповідь на хімічні сигнали, зокрема флавоноїди. Колективи вчених, Musa і Akande та Li і Naraayan, наголошують, що з початком етапу незворотної адгезії, де вирішальна роль визначається наявністю специфічних адгезивних молекул, виявлено, що у *Bacillus amyloliquefaci* — це колагенопо-

дібні білки (CLPs) ens, а у *Pseudomonas fluorescens* — високомолекулярні адгезивні білки типу LapA. Ці молекули сприяють міцному прикріпленню мікроорганізмів до кореневої поверхні та ініціюють формування мікроколоній [7–9]. Після адгезії мікроорганізми утворюють біоплівки — структуровані спільноти клітин, занурених у матрикс екзополісахаридів (EPS), екстрацелюлярної ДНК, білків та ліпідів. Цей матрикс забезпечує захист від несприятливих умов, як-от зміни рН, осмотичний стрес та УФ-випромінювання, а також сприяє обміну поживними речовинами й генетичним матеріалом між клітинами [8; 10]. Біоплівка мікроорганізмів у кореневій зоні рослин може призводити до негативної або позитивної взаємодії з рослинами залежно від природи залучених мікробів. Тому, адгезія та формування біоплівок є ключовими для встановлення взаємовигідних відносин між мікроорганізмами та рослинами.

Отже, аборигенний чи штучно створений мікробіом ґрунту кореневої зони і надземної частини рослин є основним чинником у формуванні всіх важливих властивостей ґрунту, які визначають інтенсивність і спрямованість процесів ґрунтоутворення, зокрема гумусу; виявляє біодинамічну рівноваженість процесів синтезу і розкладу органічної речовини та доступність поживних речовин для рослин [11–14].

Дослідженнями низки вітчизняних та зарубіжних вчених, а саме: J. Schmidt, A. Kent, A. Pandit, A. Bhattacharyya, Н. Воробей, С. Коць, О. Дем'янюк, В. Волкогон, О. Надкернична, Д. Крутило та ін. [5; 10; 15–20] доведено ефективність штучно сформованих мікробіомів сільськогосподарських рослин; показано значний вплив на розвиток і врожайність рослин, екологічний стан та фітопатогенний статус ґрунту, функціонування агроєкосистеми як структурної одиниці біосфери.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У лабораторному досліді визначали адгезивні властивості мікроорганізмів-агентів

органомінерального добрива Diamond grow марки HUMI [K] BIO+ «PLUS» (далі — ОМД DG H[K]B «Plus»).

Дослідження проведено в лабораторії екології мікроорганізмів, відділу агроекології і біобезпеки, Інституту агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна).

Для дослідження було обрано нове, сучасне ОМД DG H[K]B «Plus», у складі якого поєднано комплекс макро- й мікроелементів, гумінові кислоти, екстракт водоростей, та комплекс штамів 16 мікроорганізмів, а саме: *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. fulvogleba*, *Pisolithus tinctorius*, *Scleroderma cepa*, *S. citrinum*. Титр бактеріальної складової в добриві — $3,07 \cdot 10^8$ КУО/г, ендомікоризних мікроміцетів — $2,2 \cdot 10^3$ пропагул/кг, ектомікоризних мікроміцетів — $1,87 \cdot 10^6$ пропагул/кг.

Для досліду застосовували тест-рослини: пшениця яра Токата, ячмінь Себастьян, кукурудза Хорол, огірок Родничок F₁, перець солодкий Айвенго, помідор Санька, кабачок Елеонора F₁, квасоля Шахія, нут Тріумф, горох овочевий Драгон, горох посівний Меценат, гарбуз Вест.

Здатність до утворення біоплівки на поверхнях рослин вивчали експрес-методом. Насіння тест-рослин стерилізували за допомогою 25% перекису водню впродовж 1 хв, потім триразово промивали стерильною водою та пророщували в умовах вологої камери три доби.

Робочий розчин добрива готували на стерильному фізіологічному розчині з розрахунку 10 л/т насіння. Досліджували 3 норми добрива: 0,1 кг/т (1/2 від рекомендованої норми); 0,2 кг/т (рекомендована норма); 0,4 кг/т (збільшена у 2 рази від рекомендованої). Робочий розчин ОМД DG H[K]B «Plus» об'ємом 1,5 мл вносили у лунки планшету (96 лунок). Для однієї тест-культури рослин одночасно використовували по 10 лунк у 3-разовому повторенні. Потім у кожен лунку поміщали проросток відповідної тест-культури. Інкуба-

цію планшетів із проростками проводили в термостаті за 37°C. Утворення біоплівки на коренях рослин визначали через 24 і 48 год. Після інкубації проростки промивали у фізіологічному розчині. Утворені біоплівки на поверхнях проростків фіксували 96% етанолом упродовж 15 хв із подальшим фарбуванням 1% розчином акридинового помаранчевого, експозиція 5–7 хв.

Забарвлені проростки рослин висушували на предметних скельцях, після цього корінці обстежували на наявність біоплівки під мікроскопом. Рівень сформованості біоплівки оцінювали за системою плюсів, інформацію подано в табл. 1 [21; 22]. Аналізували по 10 проростків з кожного варіанта дослідження; сформованість біоплівки оцінювали в 10-кратному полі зору. Обробка даних здійснювалася за допомогою програмного забезпечення MS Excel, Statistica 12.0.

Таблиця 1. Критерії оцінювання сформованості біоплівки на проростках сільськогосподарських рослин [21; 22]

Значення	Критерії
–	Адгезія бактерій не фіксується, без формування біоплівки
+	Біоплівка представлена адгезивними клітинами практично без мікроколоній
++	Біоплівка представлена поодинокими сформованими мікроколоніями
+++	Біоплівка середньої товщини, фіксуються розриви у структурі
++++	Біоплівка середньої або більшої товщини

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У лабораторних дослідженнях встановлювали рівень сформованості біоплівки на коренях проростків тест-культур за дії мікроорганізмів, що є в ОМД DG H[K]B «Plus». Результати дослідження представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Утворення біоплівки мікроорганізмами-агентами на коренях сільськогосподарських культур

№	Культура	Норми добрива, кг/т					
		0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4
		24 год			48 год		
1	Пшениця яра	+	++	+++	++	++++	+++
2	Ячмінь	+	+	++	+++	++++	++++
3	Кукурудза	+	+	++	++++	++++	++++
4	Квасоля	-	+	+	+	++	++
5	Нут	-	+	+	+	++	++
6	Горох овочевий	-	+	+	+	++	++
7	Горох посівний	-	-	+	+	+	++
8	Помідор	+	++	++	++++	++++	++++
9	Перець солодкий	+	+	+	++	+++	+++
10	Огірок	-	+	+	++	+++	++++
11	Кабачок	+	++	++	++	+++	++
12	Гарбуз	-	+	+	+	++	++

Під час досліджень встановлено, що рівень сформованості значною мірою залежав як від видової належності тест-культури рослин і меншою мірою залежав від концентрації застосованого ОМД DG H[K]B «Plus». У досліді через 24 год за концентрації 0,1 кг/т насіння фіксували або повну відсутність адгезії мікроорганізмів (квасоля, нут, горох посівний та овочевий, огірок, гарбуз) або поодинокі колонії мікроорганізмів на коренях проростків (пшениця яра, ячмінь, кукурудза, помідор, перець, кабачок). За застосування концентрацій 0,2 і 0,4 кг/т насіння, утворення біоплівки відмічали на коренях усіх досліджуваних тест-культур, але з різним рівнем сформованості біоплівки. Через 24 год за концентрації 0,2 і 0,4 кг/т насіння найвищий рівень формування біоплівки відмічено на пшениці, ячмені та кукурудзі.

Через 48 год дослідження на коренях усіх досліджуваних тест-культур відмічали утворення біоплівок, але з різним рівнем сформованості. Найнижчий рівень сформованості біоплівок характерний для всіх

тест-культур, окрім злакових за зменшеної норми застосування (0,1 кг/т насіння). Під час використання ОМД DG H[K]B «Plus» у концентрації, 0,2 і 0,4 кг/т насіння, спостерігали утворення біоплівки середньої товщини на пшениці, ячмені, кукурудзі, помідорі, перці, огірку та кабачку.

У загальному, найінтенсивніше формування біоплівкових структур незалежно від часу експозиції і концентрації спостерігалися на проростках пшениці (*Triticum aestivum*), кукурудзи (*Zea mays*), ячменю (*Hordeum vulgare*) та помідорів (*Solanum lycopersicum*), що свідчить про високий рівень мікробної колонізації в умовах оптимального мікробіологічного середовища та найвірогідніше пов'язано з активністю первинних коренів (висока видільна здатність) злакових культур. Також виявлено, що мікроорганізми, наявні в ОМД DG H[K]B «Plus», проявляють високу спроможність щодо прикріплення до поверхні ризодерми завдяки продукції позаклітинних полісахаридів, які позитивно впливають на формування біоплівки й підвищують стій-

кість мікробної популяції до несприятливих умов. Особливої уваги заслуговують результати щодо утворення біоплівки на коренях бобових культур — гороху овочевого, гороху посівного, нуту та квасолі. Встановлено, що саме ці тест-культури демонстрували нижчу щільність біоплівки або повну відсутність адгезії мікроорганізмів до коренів. На нашу думку, це найвірогідніше пов'язано з видовим складом мікроорганізмів ОМД DG Н[К]В «Plus». Усі 16 штамів мікроорганізмів, що входять до складу ОМД DG Н[К]В «Plus», не є симбіотичними азотфіксаторами, а відносяться до мікоризоутворюваних мікроміцетів та вільноіснуючих мікроорганізмів.

Отримані нами дослідження подібні до результатів спостереження [23], де визначили адгезивну здатність п'яти ґрунтових бактеріальних штамів, які належали до різних родів. Усі бактеріальні штами були здатні формувати колонії та біоплівки різного ступеня міцності на полістиролі, що свідчить про їхню спроможність до адгезії та формування біоплівок. Однак прямої залежності між видом мікроорганізмів, рослинами та рухливістю бактеріальних клітин не знайдено. Втім наукова спільнота підтверджує, актуальність і доцільність подібних досліджень для створення і прогнозування продуктивності систем рослини–мікроорганізми.

На підставі досліджень адгезивних властивостей та здатності формувати біоплівки під час застосування добрива ОМД DG Н[К]В «Plus» встановлено певну градацію для утворення біоплівки серед досліджуваних тест-культур сільськогосподарських рослин. Цей показник формування біоплівки на коренях знижувався у такій послідовності: злакові → пасльонові → гарбузові → бобові. Така тенденція вказує на різний ступінь афінності кореневої екзосфери рослин до мікроорганізмів-агентів наявних у складі добрива.

ВИСНОВКИ

У лабораторному досліді виявлено адгезивні властивості мікроорганізмів-агентів ОМД DG Н[К]В «Plus» та здатність утворювати біоплівки на коренях сільськогосподарських культур.

Встановлено, що рівень сформованості біоплівки на коренях сільськогосподарських культур залежав від видової приналежності культури та концентрації досліджуваного добрива. Найвищий рівень сформованості біоплівки спостерігали на проростках пшениці, кукурудзи, ячменю та помідорів. Визначено, що рівень утворення і сформованості біоплівок до тест-культур за використання ОМД DG Н[К]В «Plus» має такий вигляд: злакові → пасльонові → гарбузові → бобові.

ЛІТЕРАТУРА

1. Koskella, B. & Bergelson, J. (2020). The study of host-microbiome (co)evolution across levels of selection. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0604>.
2. Fisher, R. M., Henry, L. M., Cornwallis, C. K., Kiers, E. T., & West, S. A. (2017). The evolution of host-symbiont dependence. *Nat. Commun.*, 8, 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms15973>.
3. Metcalf, C. J. E., Henry, L. P., Rebolledo-Gómez, M., & Koskella, B. (2019). Why Evolve Reliance on the Microbiome for Timing of Ontogeny. *MBIO*, 10, 5. DOI: <https://doi.org/10.1128/mbio.01496-19>.
4. Tobin, J. H., Sanders, J. G., & Fierer, N. (2019). Not all animals need a microbiome. *FEMS Microbiology Letters*, 366, 10. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsle/fnz117>.
5. Schmidt, J. E., Kent, A. D., & Brisson, V. L. (2019). Agricultural management and plant selection interactively affect rhizosphere microbial community structure and nitrogen cycling. *Microbiome*, 7, 146. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0756-9>.
6. Chen, S.-J., Hong, X.-Y., Wang, L.-Zh., & Wu, H.-M. (2025). Plant exudates-driven microbiome recruitment and assembly facilitates plant health management. *FEMS Microbiology Reviews*, 49. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsre/uaaf008>.
7. Ghitti, E., Rolli, E., Vergani, L., & Borin, S. (2024). Flavonoids influence key rhizocompetence traits for early root colonization and PCB degradation potential of *Paraburkholderia xenovorans* LB400. *Sec. Plant Symbiotic Interactions*, 15. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1325048>.
8. Musa, O. I., Akande, S. A., Ijah, U. J. J., & Abioye, O. P. (2024). Biofilms communities in the soil: characteristic and interactions using mathematical model. *Research in Microbiology*, 175, 3, 104–149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2023.104149>.

9. Li, Y., Narayanan, M., Shi, X., Chen, X., Li, Zh., & Ma, Y. (2024). Biofilms formation in plant growth-promoting bacteria for alleviating agro-environmental stress. *Science of The Total Environment*, 907. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167774>.
10. Pandit, A., Adholeya, A., Cahill, D., Brau, L., & Kochar, M. (2020). Microbial biofilms in nature: unlocking their potential for agricultural applications. *Journal of Applied Microbiology*, 129, 199–211. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.14609>.
11. Valle, I. D., Webster, T. M., Cheng, H.-Y., Thies, J. E., & Kessler, A. (2020). Soil organic matter attenuates the efficacy of flavonoid-based plant-microbe communication. *Science Advances*, 6. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax8254>.
12. Srivastava, P., Jamir, A., Jamir, S., Uiquey, P., & Singh, B. V. (2023). Harnessing Microorganisms for Sustainable Agriculture: Promoting Environmental Protection and Soil Health. *Bionature*, 43(1), 26–29. DOI: <https://doi.org/10.56557/bn/2023/v43i11851>.
13. Demyanyuk, O. S., Patyka, V. P., Sherstoboeva, O. V., & Bunas, A. A. (2018). Formation of the structure of microbiocenoses of soils of agroecosystems depending on trophic and hydrothermal factors. *Bio-systems Diversity*, 26(2), 103–110. DOI: <https://doi.org/10.15421/011816>.
14. Волкогон, В. В. (2024). Роль мікроорганізмів у первинних процесах формування родючості ґрунтів. *Сільськогосподарська мікробіологія*, 39, 3–21. DOI: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.39.3-21>.
15. Bhattacharyya, A., Mavrodi, O., Bhowmik, N., Weller, D., Thomashow, L., & Mavrodi, D. (2023). Bacterial biofilms as an essential component of rhizosphere plant-microbe interactions. *Methods Microbiol.*, 53, 3–48. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.mim.2023.05.006>.
16. Vorobey, N. A., Kukul, K. P., Pukhtaievych, P. P., & Kots, S. Y. (2023). Complex inoculation of soybeans with nodule bacteria *Bradyrhizobium japonicum* as a measure to optimize symbiotic nitrogen fixation. *Agricultural Microbiology*, 38, 29–39. DOI: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.38.29-39>.
17. Volkogon, V. V., Dimova, S. B., Volkogon, K. I., Sidorenko, V. P., & Volkogon, M. V. (2021). Biological nitrogen fixation and denitrification in rhizosphere of potato pin response to the fertilization and inoculation. *Front. Sustain. Food Syst.*, 5, 606379. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606379>.
18. Bunas, A. & Ktch, Y. (2023). Activity of the microbiocenose of the root zone of corn plants under the action of plant protection agents. *International Journal of Ecosystems & Ecology Sciences*, 13(4), 11. DOI: <https://doi.org/10.31407/ijees13.402>.
19. Крутило, Д. В., Надкернична, О. В., Шерстобоева, О. В., & Ушакова, М. А. (2018). Корекція ризобіальних угруповань ґрунту за інтродукції *Bradyrhizobium japonicum* різних генетичних груп. *Аероекологічний журнал*, 2, 73–81. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2018.157839>.
20. Шерстобоева, О. В., Бунас, А. А., & Дем'янюк, О. С. (2020). Вплив попередників та передпосівної інюкуляції насіння штамом *Azotobacter vinelandii* 12М на врожайність кукурудзи і активність процесу азотфіксації. *Збалансоване природокористування*, 1, 120–128. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2020.203941>.
21. Галкін, М. Б., Ліманська, Н. В., Філіпова, Т. О., & Іваниця, В. О. (2012). Формування біоплівки бактеріями *Lactobacillus plantarum* на коренях рослин *Lepidium sativum* L. *Мікробіологія і біотехнологія*, 3, 34–43.
22. Tverdokhlib, V. S., Limanska, N. V., Krylova, K. D., & Ivanytsia, V. O. (2018). Ability of *Lactobacillus plantarum* ONU 12 and *Bacillus megaterium* ONU 484 to stimulate growth of wheat seedlings and to form biofilms. *Мікробіологія і біотехнологія*, 4, 6–18. DOI: [http://dx.doi.org/10.18524/2307-4663.2018.4\(44\).149360](http://dx.doi.org/10.18524/2307-4663.2018.4(44).149360).
23. Shaffique, S., Imran, M., Wani, S. H., Khan, M. A., Kang, S. M., Adhikari, A., & Lee, I.-J. (2022). Evaluating the adhesive potential of the newly isolated bacterial strains in research exploitation of plant microbial interaction. *Sec. Plant Abiotic Stress.*, 13. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1004331>.

Стаття надійшла до редакції журналу 05.03.2025

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОЗАКОРЕНЕВОГО ПІДЖИВЛЕННЯ КУКУРУДЗИ (*ZEA MAYS L.*) У ЛІВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

О.П. Полтава, О.С. Дем'янюк

*Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: o.poltava@profi.land; ORCID: 0009-0006-3007-6550
e-mail: demolena@ukr.net; ORCID: 0000-0002-4134-9853*

Для отримання високих стабільних урожаїв зерна кукурудзи (*Zea mays L.*) актуальним є забезпечення збалансованого живлення рослин, зокрема критичні періоди розвитку за рахунок позакореневого підживлення комплексними добривами. У статті наведено результати польових досліджень застосування рідких органо-мінеральних добрив (Євростім Аміно, БіоГумат, Цеовіт АнтиСтрес Мульти), збалансованих за вмістом макро- і мікроелементів та біологічно активних речовин, для позакореневого підживлення різних гібридів кукурудзи. Встановлено, що реакція рослин на позакореневе підживлення була диференційованою залежно від генотипу культури. Результати 2022–2023 рр. свідчать, що підживлення рослин у критичні періоди органо-мінеральними добривами позитивно впливає на ріст рослин, збільшуючи висоту рослин у середньому на 4–12% та висоту кріплення качана – на 29–50% порівняно з контролем. Зафіксовано збільшення кількості качанів на 1 га та маси 1000 зерен. Найвищу врожайність (11,17 т/га) та приріст до контролю (1,33 т/га) отримано у гібрида Меган (ФАО 250) за використання препарату Цеовіт АнтиСтрес Мульти, де також зафіксовано зростання маси 1000 зерен (на 10,1 г) та збільшення частки рослин з двома качанами (до 21%). Для гібридів Модель (ФАО 280) та Орільскай (ФАО 320) найефективнішим виявилось підживлення препаратом Євростім Аміно, що забезпечило підвищення врожайності до 10,97 т/га і 11,14 т/га відповідно та додатковий приріст урожаю 0,76 т/га і 0,52 т/га. Розрахунки показали, що найвищий вихід зерна гібрида Меган (ФАО 250) на рівні 84,1–84,2% отримано за застосування препарату Цеовіт АнтиСтрес Мульти і Євростім Аміно, гібрида Модель (ФАО 280) на рівні 84,7% – препарату БіоГумат, гібрида Орільскай (ФАО 320) у межах 83,3% – препарату Євростім Аміно. Одержані результати вказують на доцільність впровадження позакореневого підживлення як елемента адаптивних агротехнологій у зоні Лівобережного Лісостепу України. Застосування цього агроприйому дає змогу поліпшити реалізацію генетичного потенціалу середньоранніх і середньостиглих гібридів кукурудзи, підвищити врожайність і якість зерна за контрастних погодних умов.

Ключові слова: органо-мінеральні добрива, врожайність, біометричні показники, висота рослин, висота кріплення качана.

ВСТУП

Важливим технологічним заходом підвищення продуктивності сільськогосподарських культур є науково обґрунтована система удобрення. На основі комплексних багаторічних досліджень встановлено, що лише за правильно підбраного і вчасно проведеного удобрення сільськогосподарських культур їх врожайність зростає до 30–50% залежно від біологічних особливостей культури, типу ґрунту та погодних умов [1; 2]. Такий позитивний

ефект пов'язано з тим, що збалансоване живлення рослин сприяє підвищенню активності процесу фотосинтезу, інтенсифікації обміну речовин, розвитку кореневої системи, покращанню засвоєння макро- та мікроелементів тощо. Особливо ефективними в цьому контексті є застосування рідких органо-мінеральних добрив, які не лише забезпечують рослину поживними речовинами, а й виконують роль біостимуляторів, поліпшуючи її імунітет до різних чинників навколишнього середовища [3].

Наразі у сучасних технологіях дедалі більше уваги приділяють різним способам внесення добрив, зокрема позакореновому підживленню рослин у критичні періоди росту і розвитку рослин [4–6]. Такий спосіб удобрення дає змогу оперативнo коригувати дефіцит макро- і мікроелементів у критичні фази розвитку культури та забезпечити її необхідними елементами живлення, особливо в стресових умовах навколишнього середовища або за зниженої активності кореневої системи. Наявність біологічно активних компонентів у складі таких добрив не лише покращує доступність елементів живлення та активізує фізіолого-біохімічні процеси рослини, а й підвищує стійкість до посухи, температурних стресів, зменшує залежність від мінеральних добрив тощо. Це особливо актуально для досягнення екологічної безпеки агросфери та за зростання вартості добрив та інших ресурсів.

Низкою досліджень доведено, що використання органо-мінеральних добрив як основного удобрення, так і за позакоренового підживлення у технології вирощування різних видів культурних рослин є важливою складовою підвищення їх врожайності та поліпшення якості продукції [7–10].

Мета роботи — визначити ефективність позакоренового підживлення органо-мінеральними добривами гібридів кукурудзи різних груп стиглості (Меган (ФАО 250), Модель (280), Орлскай (ФАО 320)) за вирощування в умовах Лівобережного Лісостепу України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Кукурудза (*Zea mays L.*) є однією з найважливіших сільськогосподарських культур, яка широко вирощується в Україні завдяки сприятливим природно-кліматичним умовам, високому потенціалу врожайності, значній кормовій і продовольчій цінності та економічній вигоді [11]. Поряд із постійним поліпшенням генетичного ресурсу цієї культури та виведенням нових гібридів, сучасний агробізнес значну увагу приділяє таким важливим елементам

технологій вирощування, як система удобрення і захисту рослин [12; 13].

Одним із ключових чинників підвищення продуктивності кукурудзи є забезпечення збалансованого мінерального живлення, зокрема впровадження інноваційних методів удобрення, серед яких особливе місце займає позакореневе підживлення комплексними добривами [4; 12; 14]. На думку А. Засухи [15], оптимізація елементів живлення кукурудзи за рахунок основного та додаткового живлення є актуальним питанням сьогодення і потребує відповідного обґрунтування та практичних рекомендацій для різних ґрунтово-кліматичних умов вирощування.

Нині агровиробникам запропоновано широку лінійку різноманітних інноваційних продуктів для удобрення кукурудзи, зокрема біологічні препарати, мікродобрива, нанодобрива, комплексні органо-мінеральні добрива та ін., які стимулюють проростання насіння, регулюють ростові процеси, підвищують стійкість до біотичних і абіотичних чинників, але ефективність їх дії різна. Особливістю їх є збалансований уміст поживних речовин, зокрема органічного походження, із доповненням комплексом мікроелементів, природних мінералів та біологічно активних речовин. Варто зазначити, що препарати для удобрення рослин постійно вдосконалюються, елементи живлення закріплюються в обмінній формі, зменшується їх рухомість, що підвищує коефіцієнт їх засвоєння рослинами. Внаслідок чого інтенсифікується процес фотосинтезу, активізується синтез білків та ферментів, підвищується імунітет рослин та їх продуктивність [16].

У польових умовах показано, що позакореневе підживлення кукурудзи забезпечує рослини поживними речовинами саме тоді, коли рослина їх потребує, та скорочує час між унесенням та поглинанням [17]. Це має позитивний вплив на продуктивність культури. Встановлено, що позакореневе підживлення кукурудзи у фазі 3–5 і 8–10 листків мікродобривом Greenplant Flow 20-20-20+ME для гібридів середньостиглої групи є найефективнішим щодо

розвитку рослин і формування продуктивності на рівні 7,49–7,98 т/га [18]. Подібні результати підвищення врожайності кукурудзи отримано й іншими дослідниками [19–21].

D. Rácz з колегами [22] спостерігали позитивний вплив позакореневого підживлення на формування елементів структури врожаю, зокрема масу 1000 зерен, діаметр і довжину качана, кількість рядів на качані та кількість зерен у ряду. Також фіксували підвищення концентрації цукрів на стадії наливу зерна, а також посилений антиоксидантний метаболізм, що свідчить про зменшення впливу стресових чинників навколишнього середовища за позакореневого внесення добрив [23]. Доведено, що за позакореневого підживлення кукурудзи на критичних стадіях росту зростає вміст вуглеводів, білка, ліпідів, клітковини, мінеральних речовин, відбуваються позитивні зміни у розмірі та масі зерна [24]. Крім того, встановлено посилення стійкості рослин до стресових чинників навколишнього середовища, як-от посуха, підвищені температури повітря, дефіцит поживних речовин і вологи, та за негативної дії збудників хвороб та шкідників, що опосередковано впливає на продуктивність і якість зерна [25–27]. Тобто позакореневого внесення добрив є ефективною стратегією збільшення врожайності, покращання якості та загальної поживної цінності зерна кукурудзи в складних умовах.

Отже, позакореневого підживлення кукурудзи на ранніх стадіях розвитку забезпечує рослини елементами живлення у критичні періоди росту, ефективніше усуваючи їх дефіцит. Зазначені переваги визначають вищу ефективність використання поживних речовин добрив, зниження витрат на добрива та збільшення прибутків за рахунок високої врожайності. В результаті оптимізується використання ресурсів, підвищується рентабельність вирощування кукурудзи та пропадають методи старого сільського господарства [12]. Однак ефективність позакореневого підживлення залежить від низки чинників таких, як терміни внесення, склад поживних речовин

та їх концентрація, умови навколишнього середовища тощо, що потребує поглиблених досліджень.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Польові дослідження проведено в умовах Лівобережного Лісостепу на дослідному полі ТОВ «Поле Знань» (с. Циганське Полтавського р-ну Полтавської обл.).

Тип ґрунту чорнозем типовий малогумусний з умістом гумусу в шарі 0–20 см — 4,1–4,4%. В орному шарі міститься 110–130 мг/кг азоту легкогідролізних сполук, 100–150 мг/кг — рухомих сполук фосфору і 160–200 мг/кг ґрунту — рухомих сполук калію. Ємність поглинання в шарі 0–20 см доволі висока — 33,0–35,0 мг-екв/100 г ґрунту, реакція ґрунтового розчину слабкокисла ($\text{pH}_{\text{сол.}}$ 6,3), гідролітична кислотність — 1,6–1,9 мг-екв/100 г ґрунту. Рівноважна щільність ґрунту 1,03–1,12 г/см³, щільність твердої фази ґрунту — 2,50–2,58 г/см³.

У польових умовах визначали вплив позакореневого підживлення рослин органічними добривами (Фактор А) на ріст і розвиток, та продуктивність трьох гібридів кукурудзи (Фактор Б) з різними ФАО: Меган (ФАО 250), Модель (ФАО 280), Орільскай (ФАО 320) (табл. 1).

Обрані для дослідження органічно-мінеральні добрива містять комплекс макро- і мікроелементів (азот, фосфор, калій, цинк, бор, мідь та ін.) та біологічно активних речовин:

- **Євростім Аміно** — комплексне добриво, яке містить макро- і мікроелементи, бурштинову кислоту, гумінові речовини та амінокислоти (гліцин, аргінін, триптофан);
- **БіоГумат** — комплексний природно-енергетичний препарат контактної системи дії, до складу якого входять макро- і мікроелементи, ГіФ кислоти, амінокислоти, фітогормони, бетаїні, хітозан, поверхнево активні речовини.
- **Цевіт АнтиСтрес Мульгі** — препарат, до якого входять хелатні елементи живлення, фітогормони, амінокислоти з мі-

Таблиця 1. Схеми польового дослідження

Варіант дослідження	Норма внесення, л/га	Фаза внесення
Контроль (без добрив)	–	–
Євростім Аміно	1,5	3–5 листків (ВВСН 13–15), 6–8 листків (ВВСН 16–18)
БіоГумат	2,0	
Цеовіт АнтиСтрес Мульті	2,0	

Примітка: ВВСН – міжнародна система для опису стадій розвитку рослин.

кробними полісахаридами та органічні сполуки.

Технологія вирощування кукурудзи – відповідно до зональних рекомендацій і загальноприйнятих методик. Розміщення ділянок – послідовне. Повторність дослідження – трикратна. Попередник – соняшник. Основний обробіток ґрунту – оранка на зяб завглибшки 20–25 см, весняне закриття вологи, передпосівна культивування на глибину 4–6 см. Система захисту від бур'янів: досходове внесення гербіциду Екстракорн (4,3 л/га) на 3-тю добу після сівби. Ширина міжряддя становила 70 см, густина посіву – 70 тис. шт./га. Позакореневе підживлення рослин кукурудзи проводили у фазі 3–5 (ВВСН 13–15) і 6–8 листків (ВВСН 16–18) згідно з рекомендаціями виробників препаратів.

Погодні умови періоду вегетації за 2022–2023 рр. різнилися як за роками досліджень, так і порівняно з середньобогатірічним рівнем (СБР) (табл. 2).

Не зважаючи на строкатість погодних умов за роками, їх відхилення від СБР в окремі періоди росту і розвитку рослин кукурудзи, отримані результати дали змогу визначити ефективність застосування досліджуваних органо-мінеральних добрив та їх вплив на рослини кукурудзи. Закладання дослідів, обліки й спостереження здійснювали згідно з загальноприйнятими методиками [28; 29]. Фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин кукурудзи в основні фази росту і розвитку рослин виконували згідно з методикою державного сортопробування сільськогосподарських культур [30]. Відмічали дати настання фаз розвитку: сходи (ВВСН 00–09), цвітіння волоті (ВВСН 61–69), повна стиглість (ВВСН 87–89). Фазу поодиноких сходів та інші фази фіксували за настання їх у 10–15% рослин, а повну фазу – у 75% рослин і більше. Вимірювання висоти рослин (у 5-ти місцях по 5 рослин) та прикріплення нижнього

Таблиця 2. Характеристика погодних умов за вегетаційний період 2022–2023 рр.

Місяць	Сума опадів, мм				Середньомісячна температура повітря, °С			
	2022 р.	2023 р.	Середнє	СБР	2022 р.	2023 р.	Середнє	СБР
Квітень	74,2	93,7	84,0	36,0	9,4	10,0	9,7	7,0
Травень	30,3	54,3	42,3	46,0	14,7	15,7	15,2	14,9
Червень	74,0	34,4	54,5	72,0	20,8	19,3	20,1	17,9
Липень	109,0	53,9	81,5	66,0	20,5	21,5	21,0	20,4
Серпень	75,6	68,5	72,1	54,0	22,8	22,8	22,8	19,2
Вересень	76,5	49,6	63,1	34,0	13,0	17,5	15,3	15,8
Жовтень	25,1	87,4	56,3	40,0	10,5	10,9	10,7	9,7

Примітка: СБР – середньобогатірічний рівень.

качана виконували за використання мірної лінійки від поверхні ґрунту в двох несуміжних повтореннях у варіантах досліді. Облік урожаю здійснювали методом суцільного обмолочування зерна з кожної ділянки з наступним перерахунком на 100% чистоту і 14% базисну вологість [30]. Статистичну обробку отриманих даних проводили математично-статистичними методами для встановлення достовірності результатів.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

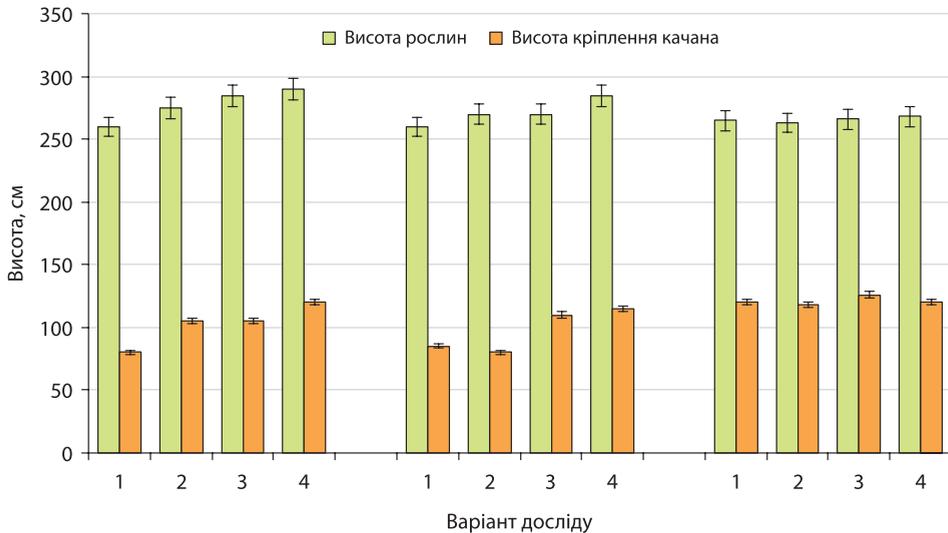
Результати досліджень показали неоднозначний вплив позакореневого підживлення рослин кукурудзи на ріст і розвиток рослин залежно від гібрида. Зокрема не значний позитивний вплив виявлено на рослини середньостиглого гібрида Орліскай (ФАО 320), зокрема такі біометричні показники, як висота рослин і висота кріплення качана були майже на рівні контрольного варіанта (рис.).

Натомість у гібридів середньоранньої групи стиглості відмічено істотнішу реакцію на агроприйм. Так, у гібрида Меган

(ФАО 250) висота рослин збільшувалась на 15–30 см (або 6–12%), а у гібрида Модель (ФАО 280) — на 10–25 см (4–10%) порівняно з контролем. Водночас висота кріплення качанів зростала у гібрида Меган (ФАО 250) порівняно з контролем на 31–50% (до 105–120 см) і на 29–35% (до 129–135 см) — у гібрида Модель (ФАО 280). Зважаючи на те, що висота кріплення качана є важливою характеристикою, що визначає придатність до механізованого збирання врожаю кукурудзи і оптимальними є висота кріплення качанів 50–130 см [14; 15], то застосування такого агрозаходу, як двократне позакоренево підживлення рослин сприяло досягненню агротехнічно прийнятних параметрів.

Варто зазначити, що найбільше стимулювання ростових процесів у рослин кукурудзи було за позакореневого підживлення препаратом Цеовіт АнтиСтрес Мульти — перевага значень біометричних показників у фазі воскової стиглості зерна над іншими варіантами з підживленням становила в середньому 2–12%.

Зниження висоти кріплення качанів на рослинах кукурудзи гібрида Модель (ФАО



Біометричні показники рослин кукурудзи у фазі воскової стиглості зерна (ВВСН 85), середнє за 2022–2023 рр.

Примітки: 1 — Контроль (без добрив); 2 — Євростім Аміно; 3 — БіоГумат; 4 — Цеовіт АнтиСтрес Мульти.

280) і Орільскай (ФАО 320) порівняно з контролем фіксували у варіанті із використанням препарату Євростім Аміно на 5 см і 2 см відповідно.

Позитивну дію позакореневого підживлення рослин спостерігали і за показниками елементів структури врожаю. Так, у контролі рослини кукурудзи різних гібридів формували лише 4–8% по два качана на рослині (табл. 3). Тоді як за двократного підживлення рослин фіксували збільшення частки рослин із двома качанами до 18–22% у гібрида Меган (ФАО 250), до 38–51% – у гібрида Модель (ФАО 280), до 26–35% – у гібрида Орільскай (ФАО 320). Встановлено, що за застосування препаратів Євростім Аміно і БіоГумат найбільше формувалось по два качани на рослині, що свідчить про здатність рослин формувати додатковий або компенсаційний урожай. Розрахунки кількості качанів на 1 га під-

тверджують цю тенденцію: зростання на 8–20% у гібрида Меган (ФАО 250), на 5–9% – у гібрида Модель (ФАО 280) та лише на 1–4% – у гібрида Орільскай (ФАО 320).

Маса 1000 зерен, як і загальна врожайність кукурудзи, варіювала за варіантами досліду і також залежала від гібрида. У гібрида Меган (ФАО 250) збільшення маси 1000 зерен на 10,1 г (або на 4%) було у варіанті із позакореневим підживленням препаратом Цеовіт АнтиСтрес Мульти. У цьому варіанті була найвищою за 2022–2024 рр. середня врожайність зерна (11,17 т/га) та вихід зерна (84,2%), а приріст до контролю становив 1,33 т/га.

Менш ефективними за показником урожайності і маси 1000 зерен було позакореневе підживлення рослин препаратами БіоГумат і Євростім Аміно. Відповідно у цих варіантах досліду приріст урожаю до

Таблиця 3. Показники продуктивності різних гібридів кукурудзи, середнє за 2022–2023 рр.

Варіант досліду	Урожайність, т/га	Вихід зерна, %	Кількість качанів, тис. шт./га	Двокачанність, %	Маса 1000 зерен, г
<i>Меган (ФАО 250)</i>					
Контроль (без добрив)	9,84	83,5±2,1	65±2	8±2	263,2±2,0
Євростім Аміно	10,50	84,1±3,5	70±3	18±3	268,9±2,8
БіоГумат	10,85	83,6±4,0	75±3	22±3	267,3±2,5
Цеовіт АнтиСтрес Мульти	11,17	84,2±3,6	78±3	21±2	273,3±3,0
НІР ₀₅	0,24				
<i>Модель (ФАО 280)</i>					
Контроль (без добрив)	10,21	85,4±2,9	85±3	4±1	287,7±3,5
Євростім Аміно	10,97	83,8±2,6	93±4	51±3	300,2±3,2
БіоГумат	10,41	84,7±2,6	92±4	41±3	294,6±2,5
Цеовіт АнтиСтрес Мульти	10,40	81,0±2,0	89±3	38±2	292,3±2,2
НІР ₀₅	0,19				
<i>Орільскай (ФАО 320)</i>					
Контроль (без добрив)	10,62	82,1±2,6	79±2	6±1	276,3±3,1
Євростім Аміно	11,14	83,3±4,0	82±3	35±3	288,0±2,0
БіоГумат	10,95	81,6±2,1	82±2	29±2	283,0±2,1
Цеовіт АнтиСтрес Мульти	10,70	82,1±2,3	80±2	26±2	278,5±2,0
НІР ₀₅	0,16				

контролю сягав 1,01 т/га і 0,66 т/га, а маса 1000 зерен зросла на 4,1 г і 5,7 г.

За вирощування гібрида Модель (ФАО 280) і Орїлскаї (ФАО 320) найвищу врожайність зерна отримано у варіанті із позакореневим підживленням рослин препаратом Євростім Аміно. В середньому за 2022–2023 рр. у цих варіантах досліду мали приріст урожаю 0,76 т/га і 0,52 т/га відповідно, а вихід зерна становив 83,8% і 83,3%. До того ж маса 1000 зерен збільшилась у середньому на 4%: у гібрида Модель (ФАО 280) — на 12,5 г, у гібрида Орїлскаї (ФАО 320) — на 11,7 г.

Децю нижчі показники ефективності використання позакореневого удобрення отримано за внесення препаратів Біо Гумат і Цеовіт АнтиСтрес Мульгі на гібридах Модель (ФАО 280) і Орїлскаї (ФАО 320). Зокрема, за вирощування гібрида Модель (ФАО 280) маса 1000 зерен зросла на 6,9 г у варіанті із підживленням рослин препаратом БіоГумат і на 4,6 г — препаратом Цеовіт АнтиСтрес Мульгі. Середній приріст урожаю за 2022–2023 рр. становив 0,20 т/га і 0,19 т/га відповідно, а вихід зерна 84,7% і 81,0%.

За вирощування середньостиглого гібрида Орїлскаї (ФАО 320) маса 1000 зерен зросла на 6,7 г у варіанті із підживленням рослин препаратом БіоГумат і на 2,2 г — препаратом Цеовіт АнтиСтрес Мульгі. Середній приріст урожаю за 2022–2023 рр.

сягав 0,33 і 0,08 т/га відповідно, а вихід зерна 81,6% і 82,1%.

ВИСНОВКИ

Дослідження підтвердили, що двократне позакореневе підживлення кукурудзи у фазі 3–5 листків (ВВСН 13–15) і 6–8 листків (ВВСН 16–18) комплексними органо-мінеральними добривами позитивно впливає на ріст і розвиток рослин, сприяє поліпшенню ростових процесів, формуванню елементів структури врожаю та підвищенню загальної продуктивності рослин. Цей агроприйом є доцільним для інтеграції у технології сталого землеробства, зокрема в умовах змін клімату і нестабільного зволоження Лівобережного Лісостепу України.

Для умов Лівобережного Лісостепу вирощування середньораннього гібрида кукурудзи Меган (ФАО 250) є більш ефективним за позакореневого підживлення препаратом Цеовіт АнтиСтрес Мульгі і дає змогу отримати врожайність зерна на рівні 11,17 т/га, а також додатковий приріст урожаю 1,33 т/га. Введення в технологію вирощування гібридів Модель (ФАО 280) і Орїлскаї (ФАО 320) за двократного підживлення препаратом Євростім Аміно забезпечує збільшення врожайності до 10,97 т/га і 11,14 т/га відповідно та отримання додаткового приросту врожаю 0,76 т/га і 0,52 т/га.

ЛІТЕРАТУРА

- Wei, W., Yan, Y., Cao, J., Christie, P., Zhang, F., & Fan, M. (2016). Effects of combined application of organic amendments and fertilizers on crop yield and soil organic matter: An integrated analysis of long-term experiments. *Agriculture Ecosyst. Environ.*, 225, 86–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.004>.
- Gamayunova, V., Khonenko, L., Baklanova, T., Kovalenko, O., & Pilipenko, T. (2020). Modern approaches to use of the mineral fertilizers preservation soil fertility in the conditions of climate change. *Scientific Horizons*, 02(87), 89–101. DOI: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-89-101>.
- Стасик, О. О., Кірізій, Д. А., & Прядкіна, Г. О. (2021). Фотосинтез і продуктивність: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. *Фізіологія рослин і генетика*, 53(2), 160–184. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2021.02.160>.
- Мусич, О. Г., Зубко, О. В., & Душко, П. М. (2024). Позакореневе живлення рослин: актуальність, потреби, виконання завдань. *Агроекологічний журнал*, 2, 155–165. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2024.305675>.
- Patilm, B., & Chetah, H. T. (2018). Foliar fertilization of nutrients. A review. *Marumegh*, 3, 49–53.
- Niu, J., Liu, C., Huang, M., Liu, K., & Yan, D. (2021). Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. *J. Soil Sci. Plant Nutr*, 21, 104–118. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3>.
- Поліщук, В. О., & Журавель, С. В. (2022). Динаміка урожайності ланки сівозміни за умов використання органо-мінеральних добрив в зоні Полісся. *Таврійський науковий вісник*, 127, 117–122. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.127.15>.

8. Дубицька, А. О., Качмар, О. Й., Дубицький, О. Л., Вавринович, О. В., & Щерба, М. М. (2024). Вплив систем удобрення за використанням біостимулятора та гумусного добрива на врожайність і якість зерна пшениці озимої. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*, 76(1), 16–25. DOI: [https://doi.org/10.32636/01308521.2024-\(76\)-1-2](https://doi.org/10.32636/01308521.2024-(76)-1-2).
9. Бараболя, О. В., & Колісник, А. В. (2023). Вплив метеорологічних умов і мінерального живлення на врожайність льону олійного в умовах Степу України. *Таврійський науковий вісник*, 132, 10–20. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.132.2>.
10. Дзедзель, А. Ю., & Пида, С. В. (2023). Вплив органо-мінеральних добрив на фізіологічні процеси та продуктивність помідора їстівного (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Фізіологія рослин і генетика*, 55(4), 279–300. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2023.04.279>.
11. Дем'янюк, О. С., Матусевич, Г. Д., Мазур, С. О. та ін. (2023). Пшениця, кукурудза та соняшник — основні культури українського експорту. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*, 4(10), 41–50. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2023.04.05>.
12. Ssemugenze, B., Ocwa, A., Kuunya, R., Gumisi-giya, C., Vojtor, C., Nagy, J., Széles, A., & Illés, Á. (2025). Enhancing maize production through timely nutrient supply: the role of foliar fertiliser application. *Agronomy*, 15(1), 176. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15010176>.
13. Mahamood, N., Ferdous, Z., Anwar, M., Ali, R., & Sultana, M. (2017). Yield maximization of maize through nutrient management. *Progressive Agriculture*, 27(4), 428–434. DOI: <https://doi.org/10.3329/ra.v27i4.32122>.
14. Паламарчук, В. Д., & Колісник, О. М. (2022). *Сучасна технологія вирощування кукурудзи для енергоефективного та екологічнобезпечного розвитку сільських територій: моногр.* Вінниця: Друкарня «Друк».
15. Засуха, А. А. (2023). Зміна біометричних показників рослин кукурудзи залежно від застосування добрив та регуляторів росту рослин. *Аграрні інновації*, 22, 46–54. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.22.8>.
16. Fan, X., Zhao, W., & Li, J. (2023). Dynamic responses of physiological indexes in maize leaves to different spraying fertilizers at varying concentrations. *Irrig. Sci*, 41, 309–320. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00271-022-00820-z>.
17. Tóth, V., Moloi, M. J., Mousavi, S. M. N., Illés, Á., Vojtor, C., Szoke, L., & Nagy, J. (2022). The evaluation of the effects of Zn, and amino acid-containing foliar fertilizers on the physiological and biochemical responses of a Hungarian fodder corn hybrid. *Agronomy*, 12, 1523. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12071523>.
18. Баган, А. В., & Улізько, В. М. (2024). Вплив позакореневого підживлення на урожайність середньостиглих гібридів кукурудзи (*Zea mays L.*). *Таврійський науковий вісник*, 140, 13–19. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.140.2>.
19. Brankov, M., Simic, M., Dolijanovic, Z., Rajkovic, M., Mandic, V., & Dragicvic, V. (2020). The response of maize lines to foliar fertilizing. *Agriculture*, 10(9), 365. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10090365>.
20. Stewart, S. P., Pappozzi, E. T., Wortmann, C. S., Jha, P. K., & Shapero, C. A. (2020). Foliar micro-nutrient application for high-yield-maize. *Agronomy*, 10(12), 1946. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10121946>.
21. Жуйков, О. Г., & Давиденко, І. А. (2024). Позакоренево підживлення кукурудзи мікродобривами — дієвий елемент технології чи «тренд»? *Таврійський науковий вісник*, 136(1), 116–124. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.1.16>.
22. Rác, D., Szoke, L., Tóth, V., Kovács, B., Horváth, É., Zagy, P., Duza, L., & Széles, A. (2021). Examination of the productivity and physiological responses of maize (*Zea mays L.*) to nitrapyrin and foliar fertilizer treatments. *Plants*, 10(11), 2426. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10112426>.
23. Rodrigues, V. A., Crusciol, C. A. C., Bossolani, J. W., Portugal, J. R., Moretti, L. G., Bernart, L., ... Lol-lato, R. P. (2021). Foliar nitrogen as stimulant fertilization alters carbon metabolism, reactive oxygen species scavenging, and enhances grain yield in a soybean–maize rotation. *Crop Sci*, 61, 3687–3701. DOI: <https://doi.org/10.1002/csc2.20587>.
24. Deshpande, P., Dapkekar, A., Oak, M. D., Panikar, K. M., & Rajwade, J. M. (2017). Zinc complexed chitosan/TPP nanoparticles: A promising micronutrient nano carrier suited for foliar application. *Carbohydr. Polym*, 165, 394–401. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.02.061>.
25. Széles, A., Nagy, J., Rátónyi, T., & Harsányi, E. (2019). Effect of differential fertilisation treatments on maize hybrid quality and performance under environmental stress condition in Hungary. *Maydica*, 64, 1–14.
26. Ocwa, A., Mohammed, S., Mousavi, S. M. N., Illés, Á., Vojtor, C., Ragán, P., ... Harsányi, H. (2024). Maize grain yield and quality improvement through bio-stimulant application: A systematic review. *J. Soil Sci. Plant Nutr*, 24(8), 1609–1649. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01687-z>.
27. Biswal, B., Kumar, R., & Kumar, A. (2024). Enhancing growth, yield, and nutrient quality of fodder maize through foliar application of ortho silicic acid. *Silicon*, 16(2), 559–571. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12633-023-02691-1>.
28. Рожков, А. О., Пузік, В. К., & Каленська, С. М. (2016). *Дослідна справа в агрономії* (Кн. 1). Харків: Майдан.
29. Лебідь, Є. М., Циков, В. С., & Пашенко, Ю. М. (2008). *Методика проведення польових дослідів з кукурудзою*. Дніпропетровськ.
30. Волкодав, В. В. (Ред.) та ін. (2000). *Методика державного сортопробування сільськогосподарських культур*. Київ: Державна комісія України по випробуванню та охороні сортів рослин.

Стаття надійшла до редакції журналу 18.03.2025

ФОРМУВАННЯ ПЛОЩІ ЛИСТКОВОЇ ПОВЕРХНІ ГІБРИДІВ СОРГО ЗЕРНОВОГО (*SORGHUM*) ЗАЛЕЖНО ВІД ГУСТОТИ СТОЯННЯ РОСЛИН ТА ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЯТОРА РОСТУ

Д.В. Сухіна

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

e-mail: sukhina.denis@gmail.com; ORCID: 0009-0008-4352-1777

Висвітлено результати польових досліджень із вивчення впливу гібридів, густоти стояння рослин та застосування регулятора росту рослин Анпетайзер на формування площі листкової поверхні сорго зернового. Вирішальним чинником у реалізації генетичного потенціалу є комплекс агротехнічних заходів у агрофітоценозах, що забезпечує створення оптимальних умов росту рослин. Найвищий показник зафіксовано на варіанті з густотою стояння рослин 200 тис. шт./га із використанням регулятора росту Анпетайзер гібридів ЕС Алізе (30,5 тис. м²/га), ЕС Фоен (29,9 тис. м²/га) та Калатур (29,3 тис. м²/га) у фазі цвітіння. Деяко менші показники були у гібридів ЕС Муссон (26,1 тис. м²/га) та Албанус (25,8 тис. м²/га) за таких самих умов. Відповідно, приріст від застосування РРР становив 2,8% у гібрида Калатур; 1,3% у гібрида ЕС Алізе; 1,7% у гібрида ЕС Фоен; 2,2% у гібрида Албанус; 2,7% – ЕС Муссон. Водночас густина стояння рослин на рівні 170 тис. шт./га мала низьку площу асиміляційного апарату, обмежуючи генетичний потенціал рослин. Збільшення густоти стояння рослин до 230 тис. шт./га є недоцільним через неістотну різницю у площі листкової поверхні та неефективності. На всіх варіантах застосування регулятора росту, особливо з оптимальною густотою стояння рослин, спостерігався приріст площі листкової поверхні на 0,4–11,7% залежно від фази розвитку, густоти стояння рослин та гібрида. Це свідчить, що використання регулятора росту рослин є ефективним та має перспективи розвитку та впровадження у технологію вирощування сорго зернового для збільшення його біометричних показників та продуктивності. Результатами наукових досліджень встановлено, що гібриди, густина стояння рослин та регулятор росту рослин Анпетайзер істотно впливали на формування площі листкової поверхні рослин сорго зернового.

Ключові слова: фотосинтез, біостимулятор, екстракт морських водоростей, вегетація, площа асиміляційної поверхні.

ВСТУП

Сорго зернове (*Sorghum*) має високу господарську цінність, яка полягає у широкому спектрі використання зерна на кормові, харчові та технологічні цілі. Зерно цієї культури містить близько 70–75% крохмалю, 12–15 білка та 2,4–4,8% жиру, що за хімічним складом є наближеним до кукурудзи і є важливим джерелом поживних речовин для годівлі худоби у південних областях України.

Завдяки низькому транспіраційному коефіцієнту (300 вагових одиниць води на вагову одиницю врожаю), невибагли-

вості, посухостійкості та адаптивності до несприятливих умов сорго зернове може мати за певних умов високий продуктивний потенціал поряд з іншими зерновими культурами, що робить його стратегічно важливою культурою для України. Реалізація його генетичного потенціалу відбувається завдяки особливості будови асиміляційного апарату: листки мають так звану «кранц-анатомію», яка є характерною для С4 рослин. Вона передбачає оточення пучкових оболонки листка шаром клітин із підвищеною кількістю хлоропластів, що сприяє ефективнішому процесу фотосинтезу. Тому, у сорго зернового первинна фік-

сація CO₂ відбувається з утворенням щавлевооцтової кислоти (оксалоацетату), яка містить чотири атоми вуглецю. Цей механізм дає змогу зменшити дихання рослини та підвищити ефективність фотосинтезу, особливо в умовах високих температур.

Мега нашої роботи — з'ясувати та описати вплив досліджуваних елементів на формування листкової поверхні сорго зернового впродовж вегетаційного періоду для подальшого впровадження його у технологію вирощування для підвищення продуктивного, генетично обумовленого потенціалу в посушливих умовах степової зони України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Завдяки особливостям будови асиміляційного апарату, сорго зернове характеризується високою посухостійкістю та невибагливістю, що робить його перспективною зерновою культурою в сучасних агрокліматичних умовах України [1; 2].

Згідно з дослідженнями А.Д. Гирки, Я.В. Алексєєва, Ю.Я. Сидоренко, О.В. Бочевара, показники площі та маси асиміляційного апарату є ключовими для визначення продуктивності рослин. Оптимізація елементів технології вирощування, зокрема густота стояння рослин та спосіб сівби, може впливати на ці параметри, забезпечуючи більш ефективне використання ресурсів та підвищення врожайності [3; 4]. За результатами їх досліджень, істотний вплив на формування площі листкової поверхні (далі — РРР) має густота стояння рослин на відміну від ширини міжряддя.

Л.А. Правдива та колеги [5; 6] дослідили дію регуляторів росту на фотосинтетичну продуктивність сорго зернового та дійшли висновку, що застосування препаратів підвищувало площу листкової поверхні до 40,32 тис. м²/га у фазі цвітіння та чисту продуктивність фотосинтезу на 30% (від 4,67 до 6,12 г/м² на добу). Також позитивний вплив регуляторів росту описують О.С. Тігаренко, Л.М. Карпук та ін. [7], відмітивши особливості перебігу фізіологічних процесів та підвищення показни-

ків продуктивності сорго зернового, що у результаті відображалось і на економічній ефективності [8].

У статтях М.О. Бойка [9; 10] наведено результати досліджень щодо вдосконалення технології вирощування гібридів сорго зернового за різної густоти стояння за ранніх та пізніх строків сівби. Оцінено потенціал найадаптованіших для умов регіону гібридів сорго зернового, а також доведено, що оптимізація цих параметрів сприяє посиленню продуктивності сорго в умовах півдня України.

Ці спостереження підкреслюють важливість оптимізації агротехнічних заходів та окремих елементів технології вирощування, як-от строки сівби, густота посівів, гібридний склад, застосування РРР, умови зволоження та ін., для підвищення фотосинтетичної активності та врожайності сорго зернового в Україні, вивчення яких залишається на сьогодні актуальним.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Польові дослідження виконано впродовж 2022–2024 рр. на полях ТОВ «Зоря» у с. Гаврилівка Синельниківського р-ну Дніпропетровської обл. Згідно з зональним розподіленням, район належить до північної частини степової зони України з недостатнім і нестійким зволоженням та посушливими погодними умовами.

Ґрунти місця проведення дослідів — чорноземи звичайні середньогумусоаккумулятивні. Ґрунтові запаси елементів живлення становили 260–270 кг/га мінерального азоту, 240–260 фосфору та 860–880 кг/га калію. Вміст гумусу коливався в межах 4,48–4,55%.

Агротехніка в досліді загальноприйнята для зони Степу, за винятком способу сівби (ширина міжряддя 45 см) та досліджуваних елементів. Попередник — пшениця озима. Дослід трифакторний: фактор А — гібриди сорго зернового від компанії Lidea різних груп стиглості (ЕС Алізе, ЕС Фоен, Калатур, Албанус, ЕС Муссон); фактор В — густота стояння рослин 170, 200 і 230 тис. шт./га; фактор С — двократне застосуван-

ня регулятора росту рослин Аппетайзер у фазі 4–5 листків з нормою витрати 0,5 л/га та у фазі 7–8 листків з нормою витрати 0,5 л/га. Розміщення варіантів – систематичне 30 варіантів у три яруси.

Загальна площа дослідної ділянки (поля) – 8 га. Облікова площа ділянки варіанта – 600 м² (6×100 м), загальна – 673,2 м² (6,6×102 м). Повторність дослідів чотириразова.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За різної густоти стояння у посівах створюються неоднакові умови живлення та освітлення рослин, що впливає на інтенсивність процесів фотосинтезу та формування надземної маси, зокрема площі листової поверхні.

Отримані результати за період 2022–2024 рр. свідчать про те, що найменша різниця площі листової поверхні між гібридами спостерігалася під час проходження фази виходу у трубку з коливаннями 0,2–0,7 тис. м²/га (рис. 1). На цій стадії розвитку сорго зернового варіанти контролю з густотою стояння рослин 170 тис. шт./га мали асиміляційну площу 11,0–11,9 тис. м²/га залежно від гібрида, зі збільшенням площі на 2,5–3,6% до значень 11,4–12,2 тис. м²/га. Істотну різницю зі зростаючою динамікою зафіксували за

збільшення густоти стояння рослин (ГСР) до 200 тис. шт./га – 13,2–13,5 тис. м²/га на варіантах контролю та 13,6–14,2 тис. м²/га на варіантах застосування регулятора росту рослин.

Наступне підвищення ГСР на 30 тис. шт./га призвело до зменшення площі листової поверхні рослин на гібриді Калатур на 0,7% (13,3–13,8 тис. м²/га) на варіанті контролю, на інших гібридах – зростання показника на 0,7–2,2% відповідно. Натомість на варіантах застосування PPP гібридів Калатур, ЕС Алізе, ЕС Фоен та ЕС Муссон площа листової поверхні зменшилася на 0,7–2,9%, а на варіанті гібрида Албанус з PPP було зафіксовано збільшення показника на 1,4%. Ймовірно, це було пов'язано з індивідуальною реакцією гібридів сорго зернового на зміну площі живлення та рівня освітлення внаслідок загушення посівів.

З настанням фази викидання волоті спостерігалася прямо-пропорційна залежність площі листової поверхні від густоти стояння рослин – зі зростанням останньої підвищувався і досліджуваний показник. Так, найменший показник спостерігався у гібрида Албанус за ГСР 170 тис. шт./га на варіанті контролю – 20,5 тис. м²/га, наступним був ЕС Муссон (20,7), далі Калатур (21), ЕС Фоен (21,4) та ЕС Алізе з максимальною площею 21,6 тис. м²/га (рис. 2).

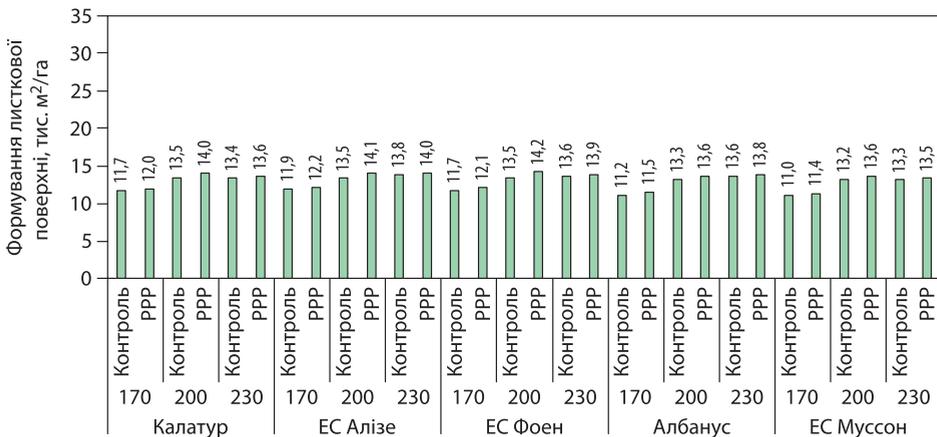


Рис. 1. Площа листової поверхні сорго зернового (тис. м²/га) у фазі вихід у трубку (середнє за 2022–2024 рр.)

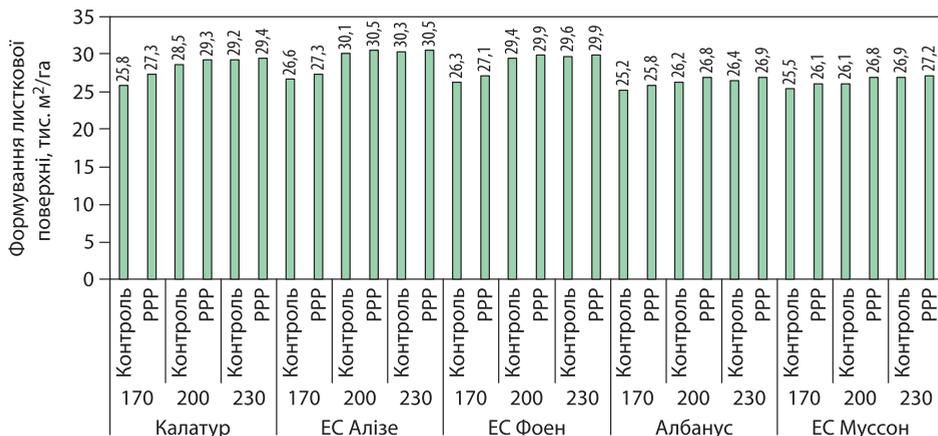


Рис. 2. Площа листкової поверхні сорго зернового (тис. м²/га) у фазі викидання волоті (середнє за 2022–2024 рр.)

Збільшення площі асиміляційного апарату за ГСР 170 тис. шт./га від використання PPP становило 5,7% для гібрида Калатур, 2,7 – для гібрида ЕС Алізе, 2,8 – для гібрида ЕС Фоен, 2,4% – для гібридів Албанус та ЕС Муссон.

На варіантах контролю з ГСР=200 тис. шт./га спостерігалось збільшення площі листкової поверхні до 21,2–24,5 тис. м²/га, що становило зростання на 10,5% для гібрида Калатур, на 13,4 – для гібрида ЕС Алізе, на 11,6 – для гібрида ЕС Фоен, на 3,9 – для гібрида Албанус та на 2,4% – для гібрида ЕС Муссон. Застосування PPP за вищезазначеної густоти стояння рослин призвело до посилення площі листкової поверхні до 21,8–24,8 тис. м²/га на всіх варіантах, приріст яких порівняно з варіантами із застосуванням PPP з густотою стояння рослин 170 тис. шт./га становив 7,2% для гібрида Калатур, 11,7 – для гібрида ЕС Алізе, 10,4 – для гібрида ЕС Фоен, 3,8 – для гібрида Албанус та 2,8% – для гібрида ЕС Муссон.

Зі збільшенням густоти стояння рослин до 230 тис. шт./га площа листкової поверхні на варіантах контролю підвищилася від 23,2 тис. м²/га до 23,7 тис. м²/га (приріст на 2,1%) для гібрида Калатур; від 24,5 до 24,6 (приріст на 0,4%) для гібрида ЕС Алізе; від 23,9 до 24,1 (приріст на 0,8%) для гібрида

ЕС Фоен; від 21,3 до 21,5 (приріст на 0,9%) для гібрида Албанус; від 21,2 тис. м²/га до 21,9 тис. м²/га (приріст на 3,3%) для гібрида ЕС Муссон. Такі результати ймовірно пов'язані з фазою розвитку рослин, яка більшою мірою дає можливість рослині за своїти регулятор росту через більшу площу листкової поверхні загалом.

На варіантах з ГСР=230 тис. м²/га із використанням регулятора росту зафіксовано площі листкової поверхні на рівні 23,9 тис. м²/га для гібрида Калатур; 24,8 – для гібрида ЕС Алізе; 24,3 – для гібрида ЕС Фоен; 21,9 – для гібрида Албанус; 23,8 тис. м²/га – для гібрида ЕС Муссон. Однак істотного збільшення площі асиміляційного апарату порівняно з аналогічними варіантами за густоти стояння рослин 200 тис. шт./га не спостерігалось. Це зумовлено значною кількістю рослин на одиниці площі з більшою конкуренцією за світло та поживні речовини водночас.

Фаза цвітіння сорго зернового на всіх варіантах характеризувалася досягненням максимальної площі листкової поверхні (рис. 3), яка за найменшої ГСР=170 тис. шт./га на контрольному та PPP варіантах становила 25,8 тис. м²/га та 27,3 тис. м²/га відповідно для гібрида Калатур; 26,6 й 27,3 відповідно для гібрида ЕС Алізе; 26,3 і 27,1 відповідно для гібрида ЕС Фоен; 25,5 та

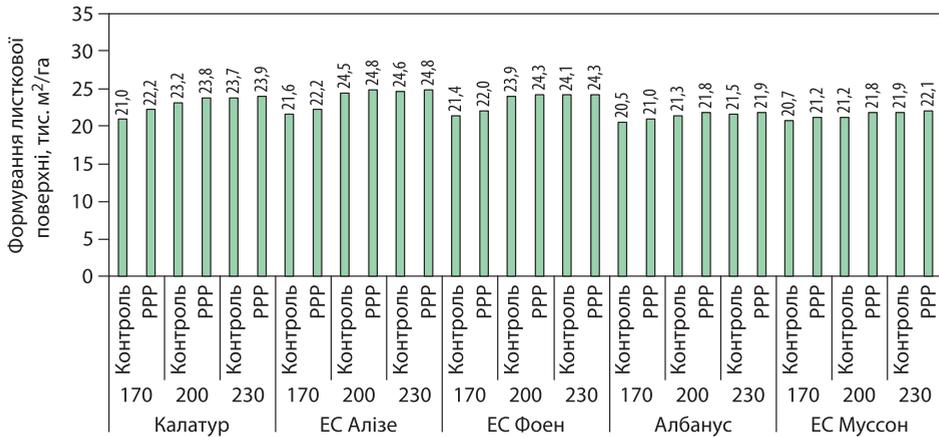


Рис. 3. Площа листкової поверхні сорго зернового (тис. м²/га) у фазі цвітіння (середнє за 2022–2024 рр.)

25,8 – для гібрида Албанус; 25,5 тис. м²/га та 26,1 тис. м²/га – для гібрида ЕС Муссон.

Збільшення густоти стояння рослин до 200 тис. шт./га зумовило зростання площі листкової поверхні на всіх ділянках досліду: варіант контролю гібрида Калатур досяг значення 28,5 тис. м²/га; гібрид ЕС Алізе – 30,1 (найбільший показник); гібрид ЕС Фоен – 29,4; гібрид Албанус – 26,2; найменшу площу листкової поверхні сформував гібрид ЕС Муссон – 26,1 тис. м²/га. Застосування PRR на відповідних варіантах збільшило площу листкової поверхні на 2,8% у гібрида Калатур (29,3 тис. м²/га); на 1,3% у гібрида ЕС Алізе (30,5); на 1,7% у гібрида ЕС Фоен (29,9); на 2,2% у гібрида Албанус (26,8) та на 2,7% – ЕС Муссон (26,8 тис. м²/га).

Аналогічно з попередньою фазою розвитку рослин, істотного посилення площі листкової поверхні зі збільшенням густоти стояння рослин до 230 тис. шт./га не спостерігалось.

Фаза воскової стиглості визначалася поступовим зменшенням площі листкової поверхні у зв'язку з природним відмиранням листків нижнього ярусу, що не враховувалися відповідно до методики окреслення площі асиміляційної поверхні листків. Так, у цю фазу найнижчу площу листкової поверхні зафіксували на контрольних ва-

ріантах з ГСР=170 тис. шт./га, яка становила 17,9 тис. м²/га для гібрида Калатур; 18,4 для гібрида ЕС Алізе; 17,1 для гібрида ЕС Фоен; 17,4 для гібрида Албанус; 17,2 тис. м²/га – ЕС Фоен. Варіанти з застосуванням регулятора росту характеризувалися більшою площею листкової поверхні (рис. 4), значення якої досягло 18,7 тис. м²/га (приріст на 4,5%) для гібрида Калатур; 18,9 (приріст на 2,7%) для гібрида ЕС Алізе; 18,2 (приріст на 6,4%) для гібрида ЕС Фоен; 17,9 (приріст на 2,9%) для гібрида Албанус; 17,5 тис. м²/га (приріст на 1,7%) – ЕС Муссон.

Істотну різницю мали варіанти з густиною стояння рослин 200 тис. шт./га. Так, варіанти контролю мали площу листкової поверхні 19,6 тис. м²/га для гібрида Калатур; 20,8 для гібрида ЕС Алізе; 20,4 для гібрида ЕС Фоен; 18,1 для гібрида Албанус та 18,0 тис. м²/га – ЕС Муссон. На варіантах із використанням PRR спостерігали посилення площі на 0,9–2,5%, серед яких найбільшим значенням вирізнявся гібрид ЕС Алізе (21,1 тис. м²/га), а найменшим – ЕС Муссон (18,3 тис. м²/га).

Подальше збільшення густоти стояння рослин до 230 призвело до зменшення площі асиміляційної поверхні листків, яка на варіантах контролю становила 19,0 тис. м²/га для гібрида Калатур; 19,7 для гібрида ЕС

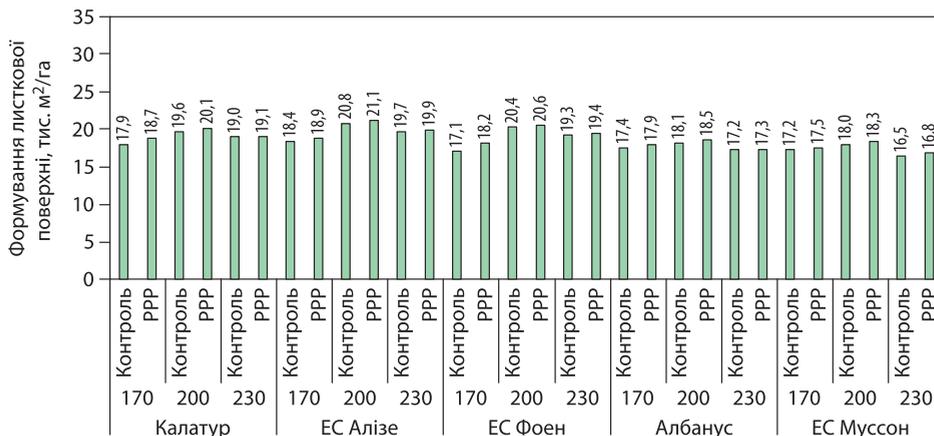


Рис. 4. Площа листкової поверхні сорго зернового (тис. м²/га) у фазі воскової стиглості (середнє за 2022–2024 рр.)

Алізе; 19,3 для гібрида ЕС Фоен; 17,2 для гібрида Албанус; 16,5 тис. м²/га – ЕС Муссон. Варіанти із застосуванням регулятора росту не істотно відрізнялися від варіантів контролю, що свідчить про недоцільність використання PPP за високої густоти стояння рослин.

ВИСНОВКИ

Площа асиміляційного апарату зростала впродовж фаз виходу у трубку та викидання волоті, досягла максимуму у фазі цвітіння і перебувала в межах від 25,2 тис. м²/га до 30,5 тис. м²/га, поступово знижуючись з настанням фаз воскової та повної стиглості. Серед досліджуваних елементів впливу на формування листкової поверхні рослин на основі результатів найкраще зарекомендували себе густота стояння рослин 200 тис. шт./га із регулятором росту Аппетайзер з найвищими показниками площі асиміляційного апарату гібриди ЕС Алізе (30,5 тис. м²/га), ЕС Фоен (29,9 тис. м²/га) та Калатур (29,3 тис. м²/га). Встановлено, що низька густота стояння рослин на рівні 170 тис. шт./га має відповідно низьку площу листкової поверхні, обмежуючи генетичний потенціал рослин при цьому і не рекомендовано до впровадження у виробництво. Те саме стосується і загущення посіву до 230 тис. шт./га, яке є недоцільним

через надлишкові витрати для неістотної різниці у площі листкової поверхні та не-ефективності як для фотосинтетичної активності рослин, так і їх продуктивності.

Крім того, важливим елементом впливу на формування площі листкової поверхні виявився регулятор росту Аппетайзер, який забезпечив збільшення показника на 0,4–11,7% залежно від фази розвитку, густоти стояння рослин та гібрида. Це свідчить про ефективність застосування регулятора росту на посівах сорго зернового для посилення його біометричних показників та продуктивності.

До того ж важливу роль відіграє сортовий або гібридний склад сорго зернового, як невід’ємна складова технології вирощування, що є запорукою реалізації потенціалу культури завдяки правильному підбору з урахуванням агрокліматичних умов зони вирощування, технології та особливостей росту й розвитку окремих сортів чи гібридів. Оскільки сорго зернове і сьогодні залишається нішевою культурою через недостатню вивченість, будучи водночас зерновою культурою з широким спектром використання та маючи високий потенціал, перспективним залишається напрям дослідження та розробки елементів впливу на реалізацію потенціалу сорго зернового в умовах глобальних кліматичних змін.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жатова, Г., & Коваленко, М. (2020). Біологічні особливості культури сорго. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер.: Агронія і біологія*, 40(2), 14–22. DOI: <https://doi.org/10.32782/agrobio.2020.2.2>.
2. Behera, P. P., Saharia, N., Borah, N., Devi, S. H., & Sarma, R. N. (2022). Sorghum physiology and adaptation to abiotic stresses. *International Journal of Environment and Climate Change*, 12(10), 1005–1022. DOI: <https://doi.org/10.9734/ijec/2022/v12i1030891>.
3. Гирка, А. Д., Сіренко, Н. О., Гирка, О. А., & Гирка, В. А. (2022). Вплив норми висіву та способу сівби сорго зернового на формування асиміляційної поверхні та зернову продуктивність рослин. *Зернові культури*, 6(2), 302–309. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0189>.
4. Домарацький, Є. О. (2019). *Агроекологічне обґрунтування системного застосування багатofункціональних рістрегулюючих препаратів при вирощуванні польових культур у Південному Степу* [Автореф. дис. д-ра с.-г. наук, Херсонський державний аграрний університет].
5. Правдива, Л., Хахула, В., & Коваленко, Н. (2023). Фотосинтетична продуктивність сорго звичайного двоколіорового (*Sorghum bicolor* L. (Moench)) в умовах Правобережного Лісостепу України. *Наукові горизонти*, 26(5). DOI: <https://doi.org/10.48077/scihor5.2023.56>.
6. Pravdyva, L. (2021). Influence of elements of growing technology on productivity of sorghum and biofuel output. *Visnyk agrarnoi nauky*, 99,5, 23–29. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202105-03>.
7. Brendel, O. (2021). The relationship between plant growth and water consumption: A history from the classical four elements to modern stable isotopes. *Annals of Forest Science*, 78, 47. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01063-2>.
8. Тітаренко, О. С., & Карпук, Л. М. (2021). Ефективність вирощування сорго зернового за різних заходів догляду за посівами. *Новітні агротехнології*, 9. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.9.2021.259698>.
9. Бойко, М. О. (2017). Формування асиміляційного апарату гібридів сорго зернового в залежності від строків сівби та густоти посівів. *Таврійський науковий вісник*, 97, 18–22.
10. Бойко, О. В., & Ковальова, Л. І. (2016). Особливості вирощування сорго зернового в умовах України. *Аграрна наука та харчові технології*, 4, 8–12.

Стаття надійшла до редакції журналу 17.01.2025

ОЦІНКА ВИСОКООЛЕЇНОВИХ ГІБРИДІВ СОНЯШНИКА (*HELIANTHUS L.*) ЗА ВРОЖАЙНІСТЮ ТА ЯКІСТЮ НАСІННЯ

І.В. Смульська¹, О.О. Кічигіна², О.В. Топчій¹,
С.М. Михайлик¹, Т.М. Хоменко¹, Л.В. Король¹

¹Український інститут експертизи сортів рослин (м. Київ, Україна)

e-mail: ivanna1973@i.ua; ORCID: 0000-0001-9675-0620

e-mail: otopchiy1992@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2797-2566

e-mail: svetlana.nik2519@gmail.com; ORCID: 0000-0001-9981-0545

e-mail: tatiana_7077@ukr.net; ORCID: 0000-0001-9199-6664

e-mail: larysa_korol@ukr.net; ORCID: 0000-0003-1414-0015

²Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: seednlen@ukr.net; ORCID: 0000-0003-0879-627X

У рамках проведення кваліфікаційної експертизи на придатність сорту для поширення здійснено комплексне оцінювання високоолеїнових гібридів соняшника LG50648', 'F2687 Tsl', 'F4413VO', 'MAS 908HOCР', 'N4H413 KL', 'N4L460 CL', 'SULIANO' в зонах Лісостепу та Степу України за основними господарсько-цінними показниками: врожайністю, олійністю, вмістом олеїнової та лінолевої кислоти в олії, вмістом білка в насінні. Встановлено, середня врожайність гібридів, вирощених у зоні Лісостепу, у межах 2,77–3,71 т/га, що перевищувала врожайність гібридів у зоні Степу, яка становила 2,10–2,90 т/га. Найвищою середньою врожайністю як у Лісостепу, так і Степу характеризувалися гібриди 'SULIANO' та 'LG50648', відповідно — 3,39 і 2,91 т/га та 2,84 і 2,76 т/га. Та гібрид 'N4H413 KL', урожайність якого як у Лісостепу, так і Степу була 2,90 т/га. Найвищим вмістом олії у насінні за вирощування в зоні Лісостепу був гібрид 'LG50648' — 53,3% та 'F2687 Tsl' — 51,3%, а в зоні Степу — 'LG50648' — 51,0%, 'F4413VO' — 49,8%. Найвищими значеннями збору олії з га визначалися гібриди 'MAS 908HOCР' — 1,64 т/га та 'SULIANO' — 1,49 т/га в зоні Лісостепу, а в зоні Степу — 'N4H413 KL' — 1,27 т/га і 'LG50648' — 1,24 т/га. Вміст олеїнової кислоти в олії варіював від 72,1 до 86,5%. У зоні Степу найкращі значення були отримані у гібрида 'LG50648' — 86,5%, а найнижчі — 'F4413VO' — 80,0%. У лісостеповій зоні вміст олеїнової кислоти в олії досліджуваних гібридів був децю нижчий. Максимальне його значенням мав гібрид 'SULIANO' — 86,2%, найменше — 'N4L460 CL' — 72,1%. В олії переважної більшості гібридів, вирощених як у Степу, так і Лісостепу, вміст лінолевої кислоти був менше 10%. Уміст білка в насінні досліджуваних гібридів становив 13,7–18,1%. Встановлено, досліджувані гібриди соняшника характеризуються високими показниками продуктивності та якості насіння, які рекомендовано до внесення в Реєстр сортів з метою поповнення сортименту соняшника високоолеїнової групи в Україні.

Ключові слова: кваліфікаційна експертиза, продуктивність, вміст олії, вміст олеїнової кислоти, вміст лінолевої кислоти, вміст білка.

ВСТУП

Соняшник (*Helianthus L.*) — одна з провідних олійних культур світу, яка вирощується переважно для виробництва соняшникової олії, а також як кормова та технічна культура [1], що займає провідні позиції у структурі посівів в Україні. Цю традиційну для південних і східних областей

культуру, дедалі частіше починають вирощувати практично у всіх регіонах нашої країни, що пояснюється змінами клімату, зокрема посиленням його посушливості. Адже, порівняно з іншими культурами, соняшник є більш стійким щодо нестачі вологи в ґрунті [2; 3]. Впродовж останніх п'ятнадцяти років він є однією з найбільш прибуткових культур для українських аграріїв. Тому не дивно, що посівні площі під соняш-

ником майже безперервно зростали, так починаючи з 2010 по 2021 рр. вони збільшилися на 30% і у сезоні 2021 р. сягнули рекордних для України 6,6 млн га [4; 5].

Розпочата Росією повномасштабна війна постійно вносить зміни в аграрний сектор України. Зокрема, це вплинуло на структуру та площі посівів. Окупація півдня та сходу України, бойові дії призвели до зменшення площ засіяних соняшником, традиційної культури саме для цих областей. Однак, площі під посівами найпоширенішої олійної культури України залишаються великими і займають близько 5 млн га. За даними Міністерства аграрної політики та продовольства України у 2022 р. соняшником було засіяно 4,7 млн га, а зібраний урожай становив 11 млн т. У 2023 р. соняшник висіяно на площі 5,3 млн га та зібрано 13 млн т насіння [6].

До 2022 р. Україна забезпечувала понад 50% світового експорту соняшника, на сьогодні його частка дещо знизилася і становить 40%. Однак, попри усі виклики сьогодення, Україна продовжує займати лідерні позиції на міжнародному ринку цієї культури, особливо в експорті соняшникової олії. Отже, соняшник є однією з основних бюджетоутворюючих культур для України, попит на яку залишається постійно високим [6; 7]. Цьому сприяє й зростаючий у світі попит на продукти здорового харчування, до яких належить соняшникова олія, яка відзначається високими дієтичними властивостями, адже як продукт рослинного походження, не містить холестерину. Крім того, багата на мононенасичені жирні та поліненасичені жирні кислоти, які профілактично впливають на зниження захворювань серця, судин, печінки, онкологічних та інших хвороб [8; 9].

Саме високоолеїнові гібриди соняшника останніми роками набувають у світі дедалі більшої поширеності [10]. Високий вміст олеїнової кислоти перетворює соняшникову олію на аналог оливкової, надає їй більшої протиокислювальної та термічної стабільності. Це збільшує термін її зберігання і знижує утворення трансжирів

за нагрівання до високих температур, наприклад під час смаження, тому високоолеїнова олія високо цінується в кулінарії. Високоолеїнова олія є природно стабільною і не потребує гідрогенізації [11; 12]. Тому, у світі дедалі зростає попит на сорти та гібриди соняшника з високим вмістом олії в насінні. І на думку експертів, його ринок має великий потенціал для українських аграріїв. Збільшити прибутковість вирощування соняшника можна за рахунок створення нових високоврожайних гібридів [10].

Отже, **метою роботи** було здійснити комплексне дослідження насіння високоолеїнових гібридів соняшника 'LG50648', 'F2687 Tsl', 'F4413VO', 'MAS 908HOCР', 'N4H413 KL', 'N4L460 CL', 'SULIANO' за основними господарсько-цінними показниками: врожайністю, олійністю, вмістом олеїнової та лінолевої кислоти, вмістом білка в насінні.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У XXI ст. аграрна галузь світу активно переорієнтовується на вирощування культур, що відповідають вимогам сучасного ринку: екологічність, користь для здоров'я, економічна вигода. Так, одним із перспективних напрямів є вирощування високоолеїнового соняшника. У світі він є затребуваною культурою. Країни Європейського Союзу (особливо Франція та Іспанія), Аргентина, США та деякі інші активно вирощують цю культуру для потреб харчової та технічної промисловості [13]. Популяризація здорового харчування та потреба світової олієжирової промисловості в нових видах олії сприяє розвитку та збільшенню частки виробництва високоолеїнової соняшникової олії, що підтверджується низкою робіт, як зарубіжних, так і вітчизняних науковців: М. Duru; Y. Zhou із співавт., А. В. Очеретна, Н. Е. Фролова; В. S. Adeleke & O. O. Babalola [8; 9; 11; 12]. Дослідження яких спрямовані на вивчення жирно-кислотного складу олії з високоолеїнових сортів соняшника, та можливості її використання для виробництва харчових

продуктів функціонального призначення. За результатами досліджень С. Alberio із співавт., соняшник за вмістом олеїнової кислоти можна розділити на дві основні групи:

1) звичайний соняшник (15–50% олеїнової кислоти);

2) високоолеїновий соняшник (понад 80% олеїнової кислоти) [14].

Головний експортний напрям для олії з високоолеїнового соняшника є ринок Європейського Союзу, обсяги якого становить приблизно 1 млн т. Збільшує споживання високоолеїнової соняшникової олії також і азіатський регіон, зокрема, Китай, Індія та Близький Схід. Останніми роками частка високоолеїнового соняшника постійно зростає і сягає близько 10% від усього виробництва соняшника у світі. Світові тенденції вказують на ширші перспективи розвитку цього напрямку і в Україні [15; 16]. Про це свідчить і динаміка вирощування високоолеїнового соняшника у нас в Україні. Так, з 2009 р. площі під ним в Україні збільшилися в 15 разів, а виробництво олії – майже у 20. Свого максимуму посіви під цим сегментом сягнули у 2020 р. – близько 800 тис. га. Нині наша держава є одним з лідерів виробництва високоолеїнового соняшника у світі, поступаючись лише Франції [13].

Розвиток високоолеїнового напрямку є економічно вигідним для українських аграріїв, адже агротехніка вирощування практично не відрізняється від звичайного соняшника, а величина чистого прибутку перевищує класичні гібриди за рахунок відповідної премії, яку готові сплачувати зернотрейдери [10].

Перспективність розвитку високоолеїнового сегмента активно вивчається науковцями. Так, питання продуктивності високоолеїнових гібридів соняшника вітчизняної селекції Кадет, Гектор та Оплот за вирощування в умовах Південного Степу України працювали Т. Качанова та Т. Манушкіна зі співавт. [17]. Отримані результати дали змогу удосконалити технологію вирощування високоолеїнового соняшника за умов недостатнього зволоження.

Дослідженням урожайності та якості насіння високоолеїнового гібрида соняшника НК Конді за різних технологій вирощування в умовах Полісся присвячена робота Г.Д. Матусевич із співавт. [18], де встановлено, що високу врожайність та якість соняшника можливо одержати за інтенсивних технологій вирощування, які включають застосування хімічних засобів захисту рослин, добрив та стимуляторів росту рослин.

Результати кваліфікаційної експертизи 2021–2022 рр. десяти нових високоолеїнових сортів соняшника однорічного на придатність до поширення в Україні, викладено у науковій праці О.В. Топчій, І.В. Смульська зі співавт. [19]. Згідно з результатами випробування на сортову придатність, усі досліджувані сорти рекомендовані для вирощування в зонах Степу та Лісостепу України.

Про зростання попиту та перспективи вирощування високоолеїнового соняшника свідчить і його сортимент у Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні (далі – Реєстр). Так, станом на квітень 2025 р. Реєстр нараховував 1104 гібридів соняшника: з них іноземної селекції – 730 гібридів, або 66,1% та вітчизняної – 374 гібриди, або 33,9%. До високоолеїнової групи належать 83 гібриди. За групами стиглості – невелика їх частка припадає на ультраранньостиглі – 2 гібриди, або 2,4%, найбільше – ранньостиглі – 33, або 39,8%, середньоранньостиглі – 30, або 36,1%, середньостиглі – 18, або 21,7% [20].

Стабільне збільшення впродовж останнього десятиліття, зокрема за останні п'ять років демонструє і динаміка поповнення Реєстру високоолеїновими гібридами соняшника [21] (рис. 1).

Найбільше ВОЛ гібридів соняшника до Реєстру внесено в 2021 р., з яких два української та 17 іноземної селекції. У 2014 і 2017 рр. Реєстр поповнили п'ять гібридів. У 2015 р. внесено чотири, а у 2016 й 2018 рр. по три гібрида ВОЛ соняшника. Впродовж 2019 та 2020 рр. до Реєстру додали вісім гібридів. У 2022 р. внесено 13,

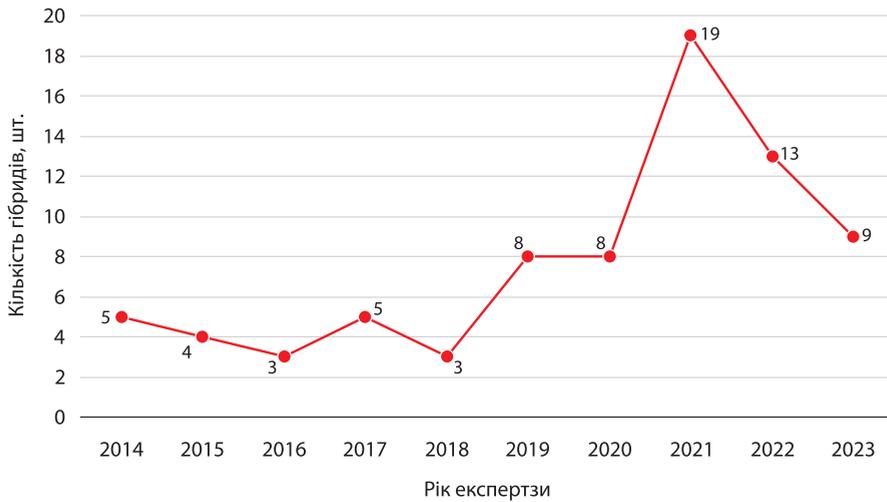


Рис. 1. Динаміка поповнення Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні гібридами ВОЛ сояшника (2014–2023 рр.)

а у 2023 р. — дев'ять ВОЛ гібридів сояшника (див. *рис. 1*). Цей процес відображає як високий внутрішній попит на високоякісну олію, так і експортні перспективи України на світовому ринку.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Кваліфікаційну експертизу на придатність сорту для поширення (ПСП) проводили впродовж 2022–2023 рр. у межах ґрунтово-кліматичних зон Степу та Лісостепу України. У роботі керувалися методичними й агрохімічними вимогами до закладання, оформлення та проведення польових дослідів відповідно до «Методики проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні (загальна частина)» [22] і «Методики проведення експертизи сортів рослин групи технічних та кормових на придатність до поширення в Україні» [23].

Робили дослідження високоолеїнових гібридів сояшника ранньостиглої — 'F2687 Tsl', 'F4413VO', середньоранньостиглої — 'MAS 908HOCР' та середньостиглої групи — 'N4H413 KL', 'N4L460 CL', 'SULIANO', 'LG50648'.

Достовірність результатів з експертизи сортів рослин забезпечували шляхом проведення досліджень не менше ніж у трьох пунктах однієї ґрунтово-кліматичної зони. У зоні Степу дослідження проводили на полях Дніпропетровської, Кіровоградської та Одеської філій Українського інституту експертизи сортів рослин (УІЕСР), а у зоні Лісостепу — Вінницької, Полтавської, Черкаської та Сумської філій УІЕСР.

Агрохімічні показники ґрунту наведено відповідно до результатів агрохімічного обстеження полів філій УІЕСР.

Ґрунт пункту дослідження Дніпропетровської філії — чорнозем звичайний середній малогумусний слабосолонцюватий, з умістом гумусу в орному шарі — 4,98%; $pH_{\text{сол}}$ — 5,8–6,7. Уміст легкогідролізованих сполук азоту — 155 мг/кг (за Корнфілдом), рухомих сполук фосфору і калію (за Чириковим) — 172 і 193 мг/кг відповідно. Кіровоградської філії — чорнозем типовий малогумусний. Уміст гумусу в орному шарі становить 4,11%, $pH_{\text{сол}}$ — 6,33. Уміст легкогідролізованих сполук азоту — 113 мг/кг (за Корнфілдом), рухомих сполук фосфору і калію (за Чириковим) — 131 і 200 мг/кг відповідно. Одеської філії — чорнозем ма-

логумусний. Уміст гумусу в орному шарі становить 2,55%, $pH_{\text{сол}}$ – 7,3. Уміст легкогідролізованих сполук азоту – 103 мг/кг (за Корнфілдом), рухомих сполук фосфору і калію (за Мачигінім) – 123 і 150 мг/кг відповідно. Вінницької філії – чорнозем опідзолений важкосуглинковий. Уміст гумусу в орному шарі становить 2,68%, $pH_{\text{сол}}$ – 5,85. Уміст легкогідролізованих сполук азоту – 74,1 мг/кг (за Корнфілдом), рухомих сполук фосфору і калію (за Чириковим) – 191 і 121 мг/кг відповідно. Полтавської філії (Карлівський відділ польових досліджень) – чорнозем типовий середньогумусний легкоглинистий. Уміст гумусу в орному шарі становить 4,58%, $pH_{\text{сол}}$ – 5,9. Уміст легкогідролізованих сполук азоту – 121,8 мг/кг (за Корнфілдом), рухомих сполук фосфору і калію (за Чириковим) – 192 і 182 мг/кг відповідно. Черкаської філії – чорнозем опідзолений слабореградований. Уміст гумусу в орному шарі становить 2,7%, $pH_{\text{сол}}$ – 5,2. Уміст легкогідролізованих сполук азоту – 137 мг/кг (за Корнфілдом), рухомих сполук фосфору і калію (за Чириковим) – 180 і 200 мг/кг відповідно. Сумської філії – чорнозем типовий малогу́мусний, що характеризуються вмістом гумусу в орному шарі – 4,5%, $pH_{\text{сол}}$ – 5,3. Уміст легкогідролізованих сполук азоту – 133,1 (за Корнфілдом), рухомих сполук фосфору і калію (за Чириковим) – 99 і 72 мг/кг відповідно. Та чорнозем сильнореградований середньосуглинковий, з умістом гумусу в орному шарі – 5,0%, $pH_{\text{сол}}$ – 5,7. Уміст легкогідролізованих сполук азоту – 133,1 (за Корнфілдом), рухомих сполук фосфору і калію (за Чириковим) – 123 і 92 мг/кг відповідно.

Площа облікової ділянки становила 25 м², розміщення ділянок – рендомізоване, повторність чотириразова. Спосіб основного обробітку ґрунту – поліпшений зяблевий, що забезпечував боротьбу з бур'янами, створення умов для нагромадження вологи, розпушування ґрунту, запобігання вітровій і водній ерозії. Весняний і передпосівний обробіток ґрунту полягав у ранньому закритті вологи й проведенні

1–2 культивувань на глибину 6–8 см. *Helianthus* L. висівали після пшениці озимої в оптимальні строки сівби: у зоні Степу – остання декада квітня, Лісостепу – кінець квітня – початок травня. Гібриди ВОЛ-соняшника висівалися з обов'язковою просторовою ізоляцією (500–700 м) для запобігання зниження вмісту олеїнової кислоти до 55–60%. Норма висіву була 50–55 тис. насінин у зоні Степу, 55–60 тис. насінин у зоні Лісостепу. Впродовж вегетаційного періоду проводили інтегровану систему захисту посівів від шкідливих організмів.

Погодні умови 2022 р. зони Степу України були малосприятливими для вирощування соняшника. Так, у період появи сходів – спостерігали заморозки на поверхні ґрунту до $-1,6^{\circ}\text{C}$. Низькі нічні температури викликали затримку вегетації на ранніх етапах. Літній період характеризувався спекотними днями з температурою повітря $+34^{\circ}\text{C}$, зі зниженням уночі до $+10$ – 11°C . За весь вегетаційний період випало всього 90 мм опадів, що становить 39% середньобогаторічної норми, а їх розподіл у часі був нерівномірним. Що у сукупності призвело до зниження врожайності. Погодні умови 2023 р. були доволі нестабільними, але загалом сприятливими для культури. З одного боку, достатня вологість ґрунту і прогрівання його до необхідної температури ($+8$ – 10°C) зумовили проростання насіння. З іншого боку, невеликі заморозки до $-0,2^{\circ}\text{C}$ могли завдати шкоди сходам. Середня температура повітря у літній період становила $+21,7^{\circ}\text{C}$, максимальна – ($+33,0^{\circ}\text{C}$), мінімальна – ($+11,3^{\circ}\text{C}$). Опадів за вегетаційний період випало близько 210 мм. Погодні умови 2023 р. позитивно впливали на формування врожаю соняшника.

У зоні Лісостепу України погодні умови як 2022, так і 2023 р. загалом були сприятливими для вирощування соняшника. Так, 2022 р. характеризувався вищими температурами та меншою кількістю опадів. Середня температура повітря вегетаційного періоду сягала $21,2^{\circ}\text{C}$, опадів випало близько 200 мм. У 2023 р. температурні

умови були дещо прохолоднішими. Середня температура повітря вегетаційного періоду – 20,4°C, кількість опадів була на достатньому рівні – близько 239 мм, що позитивно позначилось на формуванні врожаю.

Облік і збирання врожаю та опрацювання результатів досліджень проводили згідно «Методики проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні (загальна частина)» [22] та «Методики проведення експертизи сортів рослин групи технічних та кормових на придатність до поширення в Україні» [23].

Усереднений показник урожайності гібрида порівнювали з усередненим показником урожайності сортів рослин, що пройшли державну реєстрацію у попередні п'ять років, величина якого є умовним стандартом, що розраховується щороку для різних ґрунтово-кліматичних зон України та блоків дослідження за групами стиглості [22; 23].

Визначення жирнокислотного складу олії, вмісту олії та білка в насінні соняшника проводили в лабораторії показників якості сортів рослин УІЕСР за «Методикою проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення. Методи визначення показників якості продукції рослинництва» [24]. Вміст олії в насінні визначали експрес-методом за допомогою ядерно-магнітного аналізатора ЯМР MGC 5–11, вміст білка – на інфрачервоному аналізаторі Instalab 700 (DICKY-john, США), жирнокислотний склад олії соняшника – газохроматографічним методом на газовому хроматографі Shimadzu Nexis GC 2030.

Збір олії з гектара розраховували за формулою [24]:

$$A = U \times K \times Ж,$$

де А – збір олії; U – урожайність (ц/га) за стандартної вологості; K – коефіцієнт сухої речовини (для соняшника – 0,88); Ж – вміст жиру у насінні, %.

Одержані в досліді експериментальні дані обробляли статистично з використан-

ням стандартного пакета Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У рамках проведення кваліфікаційної експертизи на придатність сортів для поширення в зонах Лісостепу й Степу України семи нових високоолеїнових гібридів соняшника LG50648', 'F2687 Tsl', 'F4413VO', 'MAS 908HOCР', 'N4H413 KL', 'N4L460 CL', 'SULIANO', здійснено їх комплексне оцінювання за господарсько-цінними показниками, основні з яких – врожайність, олійність, вміст олеїнової та лінолевої кислоти в олії, вміст білка в насінні.

Відповідно до правил здійснення кваліфікаційної експертизи на придатність сорту для поширення (ПСР), середні за два роки досліджень значення врожайності того чи іншого гібрида, порівнювали з усередненою врожайністю сортів/гібридів, що пройшли державну реєстрацію за п'ять попередніх років у відповідній ґрунтово-кліматичній зоні.

Встановлено, що середня за два роки досліджень урожайність гібридів, вирощених у зоні Лісостепу була у межах 2,77–3,71 т/га та перевищувала врожайність гібридів у зоні Степу, яка становила 2,12–2,90 т/га. Найкращими результатами за цим показником як у Лісостепу, так і Степу характеризувалися гібриди 'SULIANO' та 'LG50648', відповідно – 3,39 та 2,91 т/га і 2,84 й 2,76 т/га, а також гібрид 'N4H413 KL', врожайність якого як у Лісостепу, так і Степу становила 2,90 т/га (табл. 1).

Досліджувані гібриди належать до різних груп стиглості – ранньостиглої, середньоранньостиглої та середньостиглої, що відрізняються тривалістю періоду вегетації.

Гібриди соняшника 'F2687 Tsl', 'F4413VO' належать до ранньостиглих, із тривалістю періоду вегетації 101–115 діб. Урожайність гібрида 'F2687 Tsl' у зоні Степу становила 2,28 т/га, у зоні Лісостепу – 3,26 т/га, що на 1,3% і на 13,3% менше, ніж усереднена врожайність сортів, що пройшли державну реєстрацію за п'ять попередніх років, відповідно.

Таблиця 1. Врожайність досліджуваних високоолеїнових гібридів соняшника залежно від ґрунтово-кліматичної зони, т/га

Сорт	Степ				Лісостеп			
	усереднена*	2022 р.	2023 р.	середня	усереднена*	2022 р.	2023 р.	середня
'LG50648'	2,47	2,07	3,45	2,76	3,71	2,76	3,06	2,91
'F2687 Tsl'	2,31	1,80	2,76	2,28	3,76	3,18	3,34	3,26
'F4413VO'	2,31	1,90	2,35	2,12	3,76	3,03	2,73	2,88
'MAS 908НОСР'	2,57	1,75	3,19	2,47	3,79	4,03	3,39	3,71
'N4H413 KL'	2,47	2,40	3,35	2,66	3,71	3,10	2,70	2,90
'N4L460 CL'	2,47	1,70	2,76	2,23	3,71	2,82	2,72	2,77
'SULIANO'	2,47	2,30	3,38	2,84	3,71	3,53	3,25	3,39
НІР ₀₅	1,82				0,95			

Примітка: * – усереднена врожайність сортів, що пройшли державну реєстрацію за п'ять попередніх років.

Гібрид 'MAS 908НОСР', належать до середньоранньостиглої групи, тривалість періоду вегетації якого становить 116–125 діб. Його врожайність у зоні Степу сягала 2,12 т/га, у зоні Лісостепу – 2,88 т/га, що на 4,4% і на 2,2% менше, ніж усереднена врожайність сортів, відповідно.

З огляду на те, що врожайність гібридів 'F2687 Tsl' і 'MAS 908НОСР' поступається попередній урожайності, але за якісними показниками гібрид відповідає високоолеїновому напрямку використання, що дає можливість рекомендувати його для включення до Реєстру.

Гібриди соняшника 'LG50648', 'N4H413 KL', 'N4L460 CL', 'SULIANO' належать до середньостиглої групи з тривалістю періоду вегетації понад 125 діб. Врожайність гібрида 'LG50648' становила 2,76 т/га, що перевищує усереднену врожайність гібридів, що пройшли державну реєстрацію за п'ять попередніх років у зоні Степу на 0,29 т/га, або 11,7%. Врожайність гібрида 'N4H413 KL' сягала 2,66 т/га, що перевищує усереднену врожайність гібридів, що пройшли державну реєстрацію за п'ять попередніх років у зоні Степу на 0,19 т/га, або 7,7%. Урожайність гібрида 'SULIANO' становила 2,84 т/га, та була більшою, ніж усереднена врожайність гібридів, що пройшли держав-

ну реєстрацію за п'ять попередніх років у зоні Степу на 0,37 т/га, або 15,0%.

Уміст олії в насінні досліджуваних гібридів соняшника сягав 46,6–53,9% залежно від ґрунтово-кліматичної зони, року дослідження. Середні за два роки досліджень значення були у межах 48,1–53,3% (табл. 2). Тому, відповідно до класифікатора показників якості ботанічних таксонів, сорти яких проходять експертизу на придатність до поширення досліджувані гібриди соняшника відносяться до середньо- (47,1–50,0%) та високоолеїнових (>50,1%) [25].

Найвищим умістом олії в обох ґрунтово-кліматичних зонах характеризувався гібрид 'LG50648' із значенням у зоні Степу – 51,0, а у зоні Лісостепу – 53,3%. Найнижчий вміст олії, як у зоні Степу, так і Лісостепу, відповідно 48,1 й 50,1% мав гібрид 'SULIANO' (див. табл. 2).

Середні за два роки експертизи дані вказують, що гібриди вирощені в умовах Лісостепу, порівняно зі Степом, характеризувалися вищими показниками вмісту олії в насінні та належать до високоолеїнових. Так, найвищим значенням – 53,3% за цим показником був гібрид 'LG50648', найнижчим – 50,1% гібрид 'SULIANO'. Вміст олії в насінні гібридів 'MAS 908НОСР',

Таблиця 2. Уміст олії в насінні гібридів соняшника високоолеїнової групи залежно від років дослідження та ґрунтово-кліматичної зони, %

Гібрид	Степ			Лісостеп		
	2022 р.	2023 р.	середнє	2022 р.	2023 р.	середнє
‘LG50648’	51,2±1,5	50,8±1,5	51,0±1,4	53,9±1,6	52,7±1,6	53,3±1,6
‘F2687 Tsl’	47,2±1,4	49,2±1,4	48,2±1,5	51,8±1,5	50,8±1,5	51,3±1,5
‘F4413VO’	50,1±1,3	49,5±1,5	49,8±1,3	52,6±1,6	49,8±1,4	51,2±1,7
‘MAS 908НОСР’	49,5±1,0	46,6±1,3	48,1±1,5	50,1±1,4	50,4±1,7	50,3±1,5
‘N4H413 KL’	51,1±1,5	48,1±1,4	49,6±1,5	51,7±1,6	49,3±1,6	50,5±1,7
‘N4L460 CL’	51,1±1,3	46,9±1,2	49,0±1,4	52,2±1,7	50,2±1,4	51,2±1,5
‘SULIANO’	47,8±1,4	48,3±1,5	48,1±1,4	50,8±1,6	49,3±1,4	50,1±1,5

‘N4H413 KL’, ‘F4413VO’, ‘N4L460 CL’, ‘F2687 Tsl’ становив 50,3%; 50,5; 51,2; 51,2 і 51,3% відповідно.

Вміст олії, у середньому за два роки досліджень, у гібридів вирощених у Степу був у межах 48,1–51,0%. З найменшим умістом олії виявилися гібриди ‘SULIANO’ і ‘MAS 908НОСР’ – 48,1%, а найбільшим – 51,0% гібрид ‘LG50648’. Вміст олії в насінні гібридів ‘F2687 Tsl’, ‘N4L460 CL’, ‘N4H413 KL’ та ‘F4413VO’ сягав 48,2%; 49,0; 49,6 і 49,8% відповідно. Тому, гібриди ‘MAS 908НОСР’, ‘F2687 Tsl’, ‘N4L460 CL’, ‘N4H413 KL’ та ‘F4413VO’ відносяться до середньоолійних, а ‘LG50648’ – до високоолійних.

Збір олії з гектара, залежно від року досліджень, ґрунтово-кліматичної зони та

гібрида, варіював у межах 0,75–1,78 т/га. Найнижчий показник був у гібрида ‘F2687 Tsl’ – 0,75 т/га у 2022 р. за вирощування у зоні Степу, а найвищий – у гібрида ‘MAS 908НОСР’ – 1,78 т/га у 2023 р. у Лісостепу (табл. 3).

Так, середні за два роки проведення експертизи показники збору олії з гектара у зоні Лісостепу були на рівні 1,30–1,64 т/га, тоді як у зоні Степу – 0,93–1,27 т/га. Найбільшим значенням за цим показником характеризувався гібрид ‘MAS 908НОСР’ – 1,64 т/га за вирощування в зоні Лісостепу, а найнижчим – 0,93 т/га гібрид ‘F4413VO’ у Степу. Гібриди ‘N4L460 CL’, ‘N4H413 KL’, ‘F4413VO’, ‘LG50648’, ‘F2687 Tsl’ та ‘SULIANO’ за вирощування у Лісостепу

Таблиця 3. Збір олії залежно від року дослідження та ґрунтово-кліматичної зони, т/га

Гібрид	Степ			Лісостеп		
	2022 р.	2023 р.	середнє	2022 р.	2023 р.	середнє
‘LG50648’	0,93±0,02	1,54±0,05	1,24±0,05	1,31±0,05	1,42±0,06	1,36±0,05
‘F2687 Tsl’	0,75±0,03	1,19±0,04	0,97±0,04	1,45±0,06	1,49±0,06	1,47±0,05
‘F4413VO’	0,84±0,03	1,02±0,04	0,93±0,03	1,40±0,06	1,20±0,05	1,30±0,05
‘MAS 908НОСР’	0,76±0,03	1,31±0,05	1,04±0,04	1,78±0,07	1,50±0,07	1,64±0,04
‘N4H413 KL’	1,08±0,04	1,42±0,06	1,27±0,04	1,41±0,05	1,17±0,05	1,29±0,05
‘N4L460 CL’	0,76±0,03	1,14±0,04	0,96±0,02	1,30±0,05	1,20±0,06	1,25±0,05
‘SULIANO’	0,97±0,02	1,44±0,05	1,20±0,04	1,58±0,06	1,41±0,05	1,49±0,06

мали такі показники збору олії з гектара – 1,25 т/га, 1,29; 1,30; 1,36; 1,47 та 1,49 т/га відповідно. А за вирощування у зоні Степу – визначалися за такими показниками – ‘N4L460 CL’ – 0,96 т/га, ‘F2687 Tsl’ – 0,97, ‘MAS 908HOCP’ – 1,04, ‘SULIANO’ – 1,20, ‘LG50648’ – 1,24 та ‘N4H413 KL’ – 1,27 т/га (див. *табл. 3*).

Тому, за збором олії з гектара зона Лісостепу значно переважала зону Степу, що пояснюється вищими за роки проведення експертизи показниками врожайності та вмісту олії в насінні гібридів, вирощених саме в цій ґрунтово-кліматичній зоні.

Основним показником якості насіння соняшника високоолеїнової групи є підвищений вміст олеїнової кислоти в олії (не менше 60%) та низький вміст лінолевої (менше 15%) [8; 14]. Відповідно до класифікатора показників якості ботанічних таксонів, сорти соняшника однорічного належать до високоолеїнових, за умови коли масова частка олеїнової кислоти становить понад 60% [25].

У середньому за 2022–2023 рр. уміст олеїнової кислоти в олії досліджуваних гібридів вирощених в обох ґрунтово-кліматичних зонах характеризувався високими показниками, які були у межах 75,5–86,15%. Найнижчим показником виявився гібрид ‘N4L460 CL’ за умов вирощування у зоні Лісостепу, а найвищим – ‘MAS’ у Степу (*рис. 2*).

У зоні Степу вміст олеїнової кислоти в олії усіх досліджуваних гібридів характеризувався високими показниками, які були на рівні 80,8–86,1%. Найменшим показником був гібрид ‘N4L460 CL’, а найвищим – ‘MAS 908HOCP’. Гібриди ‘N4L460 CL’, ‘SULIANO’, ‘LG50648’, ‘F4413VO’ та ‘F2687 Tsl’ визначалися такими відсотками за показником – 85,8%; 85,4; 85,1; 82,1 та 81,8% відповідно.

У зоні Лісостепу показники вмісту олеїнової кислоти в олії досліджуваних гібридів були у межах 75,5–85,8%. Найнижчий показник мав гібрид ‘N4L460 CL’, а найвищий – ‘SULIANO’. Гібриди ‘F2687 Tsl’, ‘F4413VO’, ‘LG50648’, ‘N4H413 KL’ та ‘MAS 908HOCP’ – відповідні відсотки за показником – 81,2%; 83,1; 83,8; 84,6 та 85,1%.

Серед досліджуваних гібридів слід відмітити ‘MAS 908HOCP’, ‘N4H413 KL’ та ‘SULIANO’, які мали стабільно високий вміст олеїнової кислоти в олії в обох ґрунтово-кліматичних зонах. Гібрид ‘N4L460 CL’ навпаки – найменш значення за цим показником (див. *рис. 2*).

Уміст лінолевої кислоти в олії досліджуваних гібридів у середньому за 2022–2023 рр., залежно від сорту та ґрунтово-кліматичної зони, становив від 4,4% до 10,7%.

У зоні Степу вміст лінолевої кислоти був у межах від 4,4% в гібрида ‘MAS

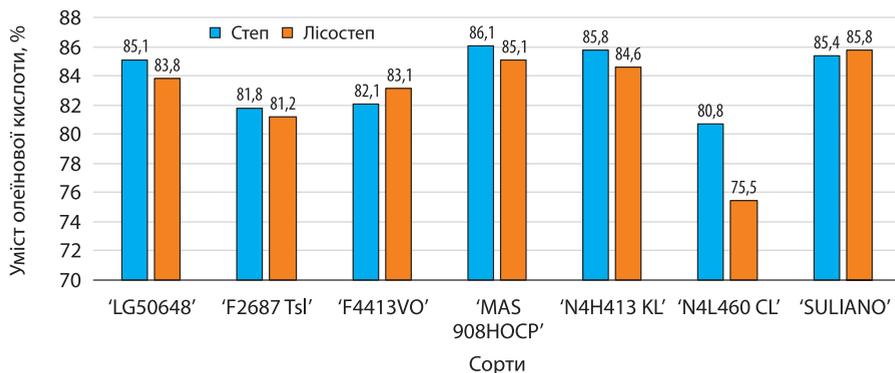


Рис. 2. Уміст олеїнової кислоти в олії досліджуваних гібридів соняшника залежно від ґрунтово-кліматичної зони (середнє за 2022–2023 рр.)

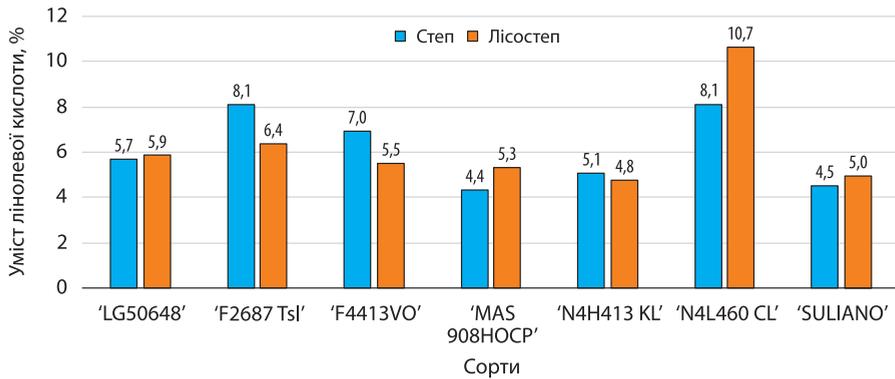


Рис. 3. Уміст лінолевої кислоти в олії досліджуваних гібридів соняшника залежно від ґрунтово-кліматичної зони (середнє за 2022–2023 рр.)

908HOCP' до 8,1% у гібридів 'N4L460 CL' та 'F2687 Tsl'. Гібриди 'SULIANO', 'N4H413 KL', 'LG50648' та 'F4413VO' характеризувалися такими відсотками за показником — 4,5%; 5,1; 5,7 і 7,0% відповідно.

У зоні Лісостепу вміст лінолевої кислоти варіював від 4,8% у гібрида 'N4H413 KL' до 10,7% — у 'N4L460 CL'. Гібриди 'SULIANO', 'MAS 908HOCP', 'F4413VO', 'LG50648' та 'F2687 Tsl' мали такий вміст лінолевої кислоти в олії — 5,0%; 5,3; 5,5; 5,9 і 6,4% відповідно.

Гібриди 'N4L460 CL' та 'F2687 Tsl' — найвищі значення вмісту лінолевої кислоти в олії в обох ґрунтово-кліматичних зонах,

гібриди 'MAS 908HOCP' та 'SULIANO' — найнижчі показники (рис. 3).

Отже, в олії переважної більшості досліджуваних гібридів соняшника вміст олеїнової кислоти, в середньому за два роки, становив понад 80%, лінолевої — до 10%. Виняток мав гібрид 'N4L460 CL' за вирощування у зоні Лісостепу з показниками 75,5% олеїнової та 10,7% лінолевої кислот. Тому, відповідно до кваліфікаційних норм щодо показників якості гібридів соняшника всі досліджувані гібриди відносяться до високоолеїнової групи [25].

Уміст білка в насінні досліджуваних гібридів соняшника, залежно від ґрунтово-

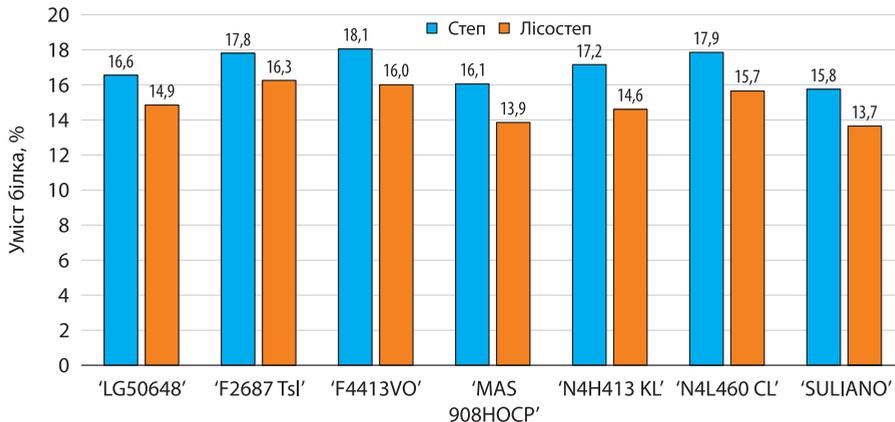


Рис. 4. Уміст білка в насінні досліджуваних гібридів соняшника в різних ґрунтово-кліматичних зонах (середнє за 2022–2023 рр.)

кліматичної зони, у середньому за роки досліджень становив 13,7–18,1%. Найвищим показником 18,1% характеризувався гібрид 'F4413VO', за вирощування у Степу, а найнижчим – 13,7% – 'MAS 908НОСР' у зоні Лісостепу (рис. 4).

Усі досліджувані гібриди у зоні Степу мали високий вміст білка, який був у діапазоні 15,8–18,1%. Найвищі показники – гібриди 'F4413VO' – 18,1% та 'N4L460 CL' – 17,9%. Гібриди 'LG50648', 'N4H413 KL' та 'F2687 Tsl' характеризувалися такими відсотками за показником – 16,6%; 17,2 і 17,8% відповідно.

У зоні Степу вміст білка у насінні досліджуваних гібридів сягав 13,7–16,3%. Високим вмістом відзначалися гібриди 'F2687 Tsl' – 16,3%, 'F4413VO' – 16,0 та 'N4L460 CL' – 15,7%. Гібриди 'LG50648', 'N4H413 KL', 'MAS 908НОСР' та 'SULIANO' були з середнім вмістом білка в насінні – 14,9%; 14,6; 13,9 і 13,7% відповідно (див. рис. 4).

ВИСНОВКИ

За результатами кваліфікаційної експертизи на придатність сорту/гібрида для поширення в Україні встановлено, що досліджувані високоолеїнові гібриди соняшника 'LG50648', 'F2687 Tsl', 'F4413VO', 'MAS 908НОСР', 'N4H413 KL', 'N4L460 CL', 'SULIANO' придатні для вирощування в зоні Степу та Лісостепу. Так, показники врожайності гібридів, вирощених у зоні Степу була на рівні або перевищували показники усередненої врожайності сортів/гібридів, що пройшли державну реєстрацію за п'ять попередніх років. Урожайність гібридів у зоні Лісостепу була дещо нижчою, однак, у переважній кількості досліджуваних гібридів наближалася до показників усередненої врожайності сортів/гібридів, що пройшли державну реєстрацію за п'ять попередніх років. За показниками олійності, вмісту в олії олеїнової та лінолевої кислот, вмістом білка в насінні усіх досліджуваних гібридів, як за вирощування у зоні Степу, так і Лісостепу відповідали нормам «Класифікатора показників якості ботанічних таксонів, сорти яких проходять

експертизу на придатність до поширення».

Вищої врожайності гібридів соняшника однорічного досягали за вирощування у зоні Лісостепу – від 2,76 т/га до 4,3 т/га, що в середньому на 19% більше, ніж у зоні Степу. Високим рівнем урожайності в усіх ґрунтово-кліматичних зонах України відзначився гібрид 'SULIANO' (Степ – 2,84 т/га, Лісостеп – 3,39 т/га). У середньому за роки дослідження вищу врожайність у зоні Степу продемонстрували гібриди 'LG50648' – 2,76 т/га і 'N4H413 KL' – 2,90 т/га, а у зоні Лісостепу гібриди – 'MAS 908НОСР' – 3,71 т/га і 'F2687 Tsl' – 3,26 т/га.

Найвищим вмістом олії характеризувались гібриди 'LG50648' – 51,0%, 'F4413VO' – 49,8 в зоні Степу, 'LG50648' – 53,3 та 'F2687 Tsl' – 51,3% в зоні Лісостепу. Гібрид 'LG 50648' має найкращі значення вмісту олії в обох ґрунтово-кліматичних зонах. У зоні Степу найбільші значення показника отримано у гібридів 'LG50648' – 1,24 т/га, 'N4H413 KL' – 1,27, а в зоні Лісостепу – 'SULIANO' – 1,49, 'MAS 908НОСР' – 1,64 т/га.

Високий вміст олеїнової кислоти в олії в середньому за 2022–2023 рр. мали гібриди 'N4H413 KL' (85,8%) та 'MAS 908НОСР' (86,1) вирощені у зоні Степу, 'MAS 908НОСР' (85,1), 'SULIANO' (85,8%) – в зоні Лісостепу. Серед досліджуваних гібридів слід відмітити 'MAS 908НОСР', 'N4H413 KL' та 'SULIANO', які характеризувалися стабільно високим вмістом олеїнової кислоти олії в обох ґрунтово-кліматичних зонах.

За показником вмісту білка найкращі значення одержали в степовій зоні. В середньому в зоні Степу максимальні значення в гібридів 'F4413VO' (18,1%), 'N4L460 CL' (17,9), в зоні Лісостепу 'Tsl' (16,3), 'F4413VO' (16,0%).

Тому, за результатами досліджень гібриди високоолеїнового соняшника 'LG50648', 'F2687 Tsl', 'F4413VO', 'MAS 908НОСР', 'N4H413 KL', 'N4L460 CL', 'SULIANO' рекомендовано до внесення в Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні з метою поповнення сортименту соняшника високоолеїнової групи.

ЛІТЕРАТУРА

- Pilorgé, E. (2020). Sunflower in the global vegetable oil system: situation, specificities and perspectives. *OCL-Oilseeds & Fats Crops and Lipids*, 27(34), 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1051/ocl/2020028>.
- Прокопенко, К. О., & Удова, Л. О. (2017). Сільське господарство України: виклики і шляхи розвитку в умовах зміни клімату. *Економіка і прогнозування*, 1, 92–107.
- Hussain, M., Farooq, S., Hasan, W., Ul-Allah, S., Tanveer, M., Farooq, M., & Nawaz, A. (2018). Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agricultural Water Management*, 201, 152–166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.028>.
- Цвігун, В. О., & Ткач, С. Д. (2024). Моніторинг та діагностика вірусних хвороб соняшника (*Helianthus annuus* L.) в агроценозах України. *Агро-екологічний журнал*, 4, 141–149. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2024.317166>.
- Share UA Potential. (2023, 8 березня). *Огляд українського ринку соняшнику та соняшникової олії — 2022/23*. URL: <http://shareuapotential.com/ru/BE/ukrainian-podsolnechnik-maslo-2023.html>.
- Міністерство аграрної політики та продовольства. (2024). *Поле онлайн*. URL: <https://minagro.gov.ua>.
- Немцева, Ю. (2025, 22 квітня). *Частка України в експорті соняшникової олії знизилась до 40% — Карен Браун*. URL: <https://kurkul.com/news/38418-chastka-ukrayini-v-eksporti-sonyashnikovoyi-oliyi-znizilas-do-40--karen-braun>.
- Duru, M. (2019). Trends in agri-food choices for health since the 1960s: the case of fatty acids. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*, 26(44), 11. DOI: <https://doi.org/10.1051/ocl/2019038>.
- Zhou, Y., Zhao, W., Lai, Y., Zhang, B., & Zhang, D. (2020). Edible plant oil: global status, health issues, and perspectives. *Front. Plant Sci*, 11, 1315. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01315>.
- АПК-Інформ. (2023, 10 жовтня). *У світі зростає попит на високоолеїновий соняшник — як цим скористаються українські сільгоспвиробники?* URL: <https://www.apk-inform.com/uk/news/1537067>.
- Очеретна, А. В., & Фролова, Н. Е. (2020). Перспективи використання високоолеїнових сортів олії соняшника у продуктах функціональної дії для оздоровчого харчування. *Технологія харчової та легкої промисловості*, 3(2–2), 129–135. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/22>.
- Adeleke, B. S., & Babalola, O. O. (2020). Oilseed crop sunflower (*Helianthus annuus*) as a source of food: Nutritional and health benefits. *Food Sci. Nutri.*, 8, 4666–4684. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.1783>.
- Лиса, А. (2023, 12 жовтня). *На глобальному ринку зростає попит на високоолеїновий соняшник*. URL: <https://landlord.ua/news/na-hlobalnomu-rynku-zrostaie-popyt-na-vysokooleinovyi-sonyashnyk>.
- Alberio, C., Izquierdo, G. N., Galella, T., Zuil, S., Reid, R., Zambelli, A., & Aguirrezábal, L. A. N. (2016). A New Sunflower High Oleic Mutation Confers Stable oil Grain Fatty Acid Composition across Environments. *European Journal of Agronomy*, 73, 25–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.10.003>.
- Ведмедева, К. В. (2017). Особливий соняшник. *Агроном*. URL: <https://www.agronom.com.ua/osoblyvuj-sonyashnyk/>.
- Яблуком. (2018, 06 червня). *Переваги високоолеїнових гібридів соняшнику*. URL: <https://yablukom.ua/ua/interesno-znat/344-preimushchestva-vysokooleinovykhy-gybridov-podsolnechnika/>.
- Kachanova, T., Manushkina, T., Petrova, O., & Shevchuk, N. (2023). Productivity of high-oleic sunflower when grown in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 27(1), 41–50. DOI: <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/1.2023.41>.
- 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>.
- Торчій, О. В., Смутьська, І. В., Орленко, О. В., Хоменко, Т. М., Довбаш, Н. І., & Руденко, О. А. (2023). Characteristics of the formation of productivity of high oleic varieties of the common sunflower *Helianthus annuus* L. *Plant Varieties Studying and Protection*, 19(3), 185–194. DOI: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.19.3.2023.287643>.
- Міністерство аграрної політики та продовольства України. (2025). *Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2025 рік*. URL: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reystri-sortiv-roslin>.
- Міністерство аграрної політики та продовольства України. (2023). *Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2023 рік*. URL: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reystri-sortiv-roslin>.
- Ткачик, С. О. (Ред.). (2016). *Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні* (загальна частина) (4-те вид., випр. і доп.). Вінниця: ФОП Корзун Д. Ю.
- Ткачик, С. О. (Ред.). (2017). *Методика проведення експертизи сортів рослин групи технічних та кормових на придатність до поширення в Україні (ПСП)*. Вінниця: ФОП Корзун Д. Ю.
- Ткачик, С. О. (Ред.). (2016). *Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення. Методи визначення показників якості продукції рослинництва* (3-те вид. випр. і доп.). Вінниця: ФОП Корзун Д. Ю.
- Класифікатор показників якості ботанічних таксонів, сорти яких проходять експертизу на придатність до поширення. (2019). Вінниця: ФОП Корзун Д. Ю.

Стаття надійшла до редакції журналу 12.03.2025

ABSTRACT

Konishchuk V.¹, Khomiak I.², Shumyhai I.¹, Onyshchuk I.² Vegetation dynamics of field protective forest strips affected by military actions of various intensities. *Agroecological journal*. 2025. No. 2. P. 6–13.

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 article concerns the dynamics of ecosystems of field protection forest belts damaged as a result of military operations. The study is a topical task of modern ecology and has important scientific and practical significance for Ukraine in the conditions of martial law and in the post-war period. The results obtained will contribute to the development of scientifically based strategies for restoring the ecological stability of agroecosystems and minimizing negative belligerent consequences for the environment. The purpose of the study is to predict the dynamics of plant communities of field protection forest belts affected as a result of active military operations. In accordance with the purpose, the following tasks were set: to describe the phytocenotic diversity of field protection forest belts; to determine the main directions of autogenic succession of vegetation of field protection forest belts; to establish the main types of disruption of phytocenoses of field protection forest belts as a result of military operations and their consequences. The phytocenotic diversity of the surveyed areas includes 5 classes, 7 orders, 11 unions, 14 associations for the Steppe zone; 12 classes, 17 orders, 23 unions, 47 associations for the Forest-Steppe and 11 classes, 13 orders, 16 unions, 24 associations for Polissia. Field protection strips develop according to the model of a «cone of growth», the center of which is woody vegetation, and the edges are ruderal and meadow groups on the periphery. When building plans for the restoration of field protection forest strips affected by hostilities, calculations of forecasts of the dynamics of their ecosystems should be carried out. The dynamics of ecosystems of field protection forest strips damaged by hostilities are affected by damage or destruction of vegetation, destruction of the A-horizon of the soil and exposure of parent rocks. In case of minor damage to the forest shelterbelt, it is worth conducting controlled self-recovery. In case of significant damage to vegetation and soil cover, it is more advisable to conduct recultivation on the damaged site with its reproduction on a neighboring site.

Key words: succession, post-military vegetation restoration, ecosystem self-recovery, phytoinvasions.

Mudrak O.¹, Morozova T.^{2,3} Dieback of *Picea abies* (L.) H. Karst. as an indicator of ecosystem instability:

causes, manifestations and consequences. *Agroecological journal*. 2025. No. 2. P. 14–23.

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: ov_mudrak@ukr.net

Forest dieback has emerged as a critical indicator of ecological imbalance and declining resilience of forest ecosystems, particularly under the influence of multifactorial stressors. This study focuses on the widespread degradation of secondary spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) stands in the Carpathian region of Ukraine, where the combination of climatic, biotic, anthropogenic, and hydrological factors creates a complex mosaic of stress responses. The research highlights the necessity of a systemic approach to understanding forest vulnerability, integrating physiological, morphological, pathological, and anatomical diagnostics at both tree and ecosystem levels. Field and laboratory analyses revealed that root rot caused by *Armillaria mellea* and *Heterobasidion annosum* is among the leading phytopathological threats to spruce stands. A marked decline in the photosynthetic capacity, shifts in pigment composition, and structural changes in needles—including reduced biomass, altered density, and diminished resin canal development—reflect a systemic physiological destabilization. These alterations correlate with a disruption in water balance and the accumulation of stress-induced metabolites, which collectively compromise tree function. Quantitative relationships were established between needle morphological traits (length, density), water content, and total needle biomass. These parameters exhibited strong sensitivity to external stressors, suggesting their applicability as early bioindicators of forest health. The results underscore the diagnostic value of morphometric and biochemical characteristics of conifer needles in detecting pre-symptomatic phases of forest decline and in supporting adaptive monitoring frameworks. Moreover, the study contextualizes forest dieback within broader ecological processes, including carbon cycle disruption, biodiversity loss, and decreased ecosystem productivity. Integration of bioindicator-based diagnostics with spatially explicit monitoring tools (e.g., GIS, remote sensing, field-based assays) is proposed as a promising direction for forest management under climate change scenarios. The findings support the development of adaptive management strategies that account for local ecological conditions, species-specific vulnerability, and landscape-level feedbacks. This work contributes to the scientific basis for enhancing resilience in forest landscapes through improved monitoring, early diagnosis of ecological instability,

and targeted interventions to mitigate forest decline in mountain ecosystems.

Key words: forest vulnerability, spruce decline, *Picea abies*, needle morphology, ecological monitoring, climate-induced impacts, root rot fungi.

Starodub V., Tkach Ye. Ontogenetic and population analysis of *Sinapis arvensis* L. in agroecosystems of Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Agroecological journal. 2025. No. 2. P. 24–32.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

This article presents the results of a comprehensive ontogenetic-population analysis of the adventive species *Sinapis arvensis* L., a significant component of the segetal flora in the agroecosystems of field crops in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The research was conducted over a multi-year period (2013–2024) on private farms located in Odesa and Vinnytsia regions, which allowed for tracking the dynamics of population changes under various agricultural practices. This species was conditionally identified as a model object for further studies of invasion processes, due to its high segetal potential, confirmed by consistently high abundance indicators, significant projective cover, and high frequency of occurrence in all studied agroecosystems. These characteristics demonstrate the successful adaptation of *S. arvensis* L. and its dominance in the agroecosystems of the region. A detailed analysis of the age structure of *S. arvensis* L. populations revealed their high density and the formation of full-membered right-sided spectra of ontogenetic states. This means that populations include all age groups – from seedlings and juvenile forms to adult virile, generative, and senescent individuals. Such full-membership is a critical indicator of population stability and its ability for effective self-reproduction even under intensive anthropogenic pressure. The presence of all life cycle stages confirms the species' existence in conditions of ecological and phytocenotic optimum. The application of the quantitative «delta-omega» (Δ/ω) classification by Zhivotovsky allowed for establishing that *S. arvensis* L. populations primarily belonged to young and maturing types. However, long-term monitoring revealed significant dynamism in the ontogenetic structure of populations and its dependence on the type of agroecosystem: in the agroecosystems of winter cereals (winter wheat, winter barley) and oilseeds (winter rapeseed), a «rejuvenation» of populations was observed in the period 2017–2024. This is likely linked to the intensification of agricultural practices, which eliminate older individuals but create conditions for the mass germination of seeds from the soil seed bank. In sunflower and corn crops, *S. arvensis* L. populations maintained a young status, indicating consistently favorable conditions for intensive population renewal in these cultures; conversely, in sugar beet agroecosystems, a tendency for the population to transition to a mature

stage was recorded. This may suggest the formation of more stable and self-reproducing communities, possibly due to the specificity of agricultural technologies or lower competitive pressure in these crops, allowing a larger number of individuals to reach reproductive age. This observed dynamism in the ontogenetic structure of populations and its dependence on a complex of ecological, phytocenotic, and anthropogenic factors underlines the high ecological plasticity of *S. arvensis* L., its exceptional competitiveness, and its ability for effective persistence in agroecosystems. The obtained results are of fundamental importance for understanding the bioecology of invasive species and serve as a scientific basis for developing effective integrated control systems for wild mustard, aimed at minimizing its negative impact on the productivity of agricultural crops under intensive farming conditions in Ukraine.

Key words: agroecosystem, coenopopulation, ontogenetic structure, adventive species, invasiveness, naturalization, delta-omega classification, integrated system.

Yukhnovskiy V.¹, Tupchii O.² Reformatting windbreaks of Kyiv region into linear plantings of silvoarable agroforestry. Agroecological journal. 2025. No. 2. P. 33–43.

¹*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

²*State Biotechnological University*

e-mail: yukhnov@ukr.net

Windbreaks, planted in the middle of the last century, are at the age of quantitative maturity, losing aerodynamic properties and design features, which is a consequence of the growth and spread of crowns of edge trees into the fields, increasing their width. That requires significant costs for forestry care and thinning, associated with the formation of optimal designs. This is achieved by reducing the width of windbreaks by clearing or removing edge rows, which transforms them into silvoarable agroforestry plantations. The object of research consisted of 7 classical and 9 transformed windbreaks in the central part of the Right-Bank Forest-Steppe region. The list of trees by categories of health condition and Kraft classes was made at the 16 trial plots and the main forestry and amelioration indicators were determined. The studied stands of VI–VIII age classes fully exert a melioration effect on the inter fields. The protective heights of classical windbreaks are 2–4 m higher than those of transformed plantations, which is reflected in a decrease in the productivity of the latter in I–II quality classes. It was found that all the transformed windbreaks acquired a blown and sieve-looked designs, which contributes to an effective impact on wind regulation, ameliorative protection of adjacent areas. The health condition index of classical and transformed windbreaks varies within 2.0–2.9 and 1.5–2.4, respectively. The absence of dead trees or their small

proportion (up to 2.6%) in transformed windbreaks improves the health condition of these plantations. This is also evidenced by lower values of the weighted average Kraft's classes and an increase in the number of dominant and sub-dominant trees in transformed windbreaks. A relationship between the health condition of stands and the proportion of trees of Kraft's classes has been established, which is optimally described by linear equations. The use of linear models is of practical importance in determining the health condition of stands by the weighted average Kraft's class. Positive practical solutions for reformatting classic windbreaks into silvoarable agroforestry plantations include reducing the width of linear plantations, freeing up arable area for agricultural production, reducing costs for caring and maintaining the plantations, and optimizing the aerodynamic properties of windbreaks, which improves their ameliorative impact on adjacent fields.

Key words: agroforestry, health condition index, Kraft's class, design, parametric structure of windbreak, reconstructive felling.

Shvydenko I.¹, Kuchma T.¹, Raichuk L.¹, Chobotko G.¹, McDonald I.², Baranovska N.¹ Comprehensive indicator of radioecological criticality for territories of Ukrainian Polissya: assessment methodology and mapping. *Agroecological journal*. 2025. No. 2. P. 44–54.

¹*Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

²*Fort Hays State University, Department of Agriculture, Kansas, Hays, USA*

e-mail: favor09@ukr.net

Based on criteria that consider both natural and anthropogenic factors affecting the radioecological situation in the region, the components of a radioecological-landscape map of the Ukrainian Polissya have been developed. The main elements of the map include: radiological indicators (soil contamination density by radionuclides), landscape features (soil types, vegetation cover, relief), as well as climatic and hydrological conditions. This approach enables a comprehensive assessment of ecological risks and determines the most appropriate directions for land use in agriculture and forestry. Taking into account the components of the integrated radioecological-landscape map of the Ukrainian Polissya, a comprehensive index of the radioecological criticality of territories has been developed. This index is calculated based on a set of coefficients that reflect the map components and their analysis. It has been established that integrating existing databases with targeted additional studies is the optimal approach for forming an effective radioecological criticality index. This will ensure more reliable risk assessments and support the development of radioecological safety management strategies at different levels. The necessity of integrating various data sets, including local and global resources, to form

a comprehensive approach to assessing radioecological criticality is substantiated. This approach allows for consideration of both local territorial features and broader geographic trends. In particular, the use of data on river networks, relief, and soil types improves the accuracy of modeling radioecological processes, such as radionuclide migration. The radioecological-landscape map enables adequate assessment of both current and forecasted radioecological conditions, as well as prompt development of response systems aimed at improving the situation, selecting relevant solutions to socio-economic and environmental issues in the region, and justifying the implementation of appropriate measures in the mapped locations.

Key words: radioecological-landscape zoning, radioecological criticality of the territory, ecological risks, dose exposure, radioecological safety.

Vasiliev D., Iliencko T. Effectiveness evaluation of a modified EVI-S index in monitoring system of vegetation cover. *Agroecological journal*. 2025. No. 2. P. 55–67.

Institute of Agroecology and Environmental Management of the NAAS

e-mail: freimaster.af@gmail.com

Remote sensing methods are essential for environmental monitoring and assessment. They provide objective data on vegetation cover, enabling the detection of changes and evaluation of ecological processes. In Ukraine, located in a temperate climate zone, favorable conditions support vegetation growth and agricultural activities. However, the agricultural sector faces significant environmental challenges, such as climate change, soil degradation, and erosion. Monitoring these processes is crucial for sustainable land use and resource management. To assess changes in vegetation cover and their environmental impact, satellite remote sensing and spectral indices are commonly applied. Widely used indices include the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), and their modifications. These indices, however, have limitations, including sensitivity to soil background, atmospheric interference, and saturation at high vegetation densities. To address these limitations, a new index called EVI-S (Enhanced Vegetation Index – Soil Adjusted) has been proposed. It combines the strengths of SAVI and EVI2 while minimizing atmospheric interference. The primary goal is to develop and validate this new index to enhance ecological monitoring. The study area is the Feodosiivska territorial community in Kyiv region, which includes natural ecosystems and agricultural lands. The landscape is predominantly flat, typical of the forest-steppe zone. Sentinel-2 satellite images, processed using QGIS with the SCP plugin, provided data for calculating NDVI, EVI, EVI2, SAVI, and EVI-S indices. Results indicate that the EVI-S index shows higher maximum and average

values compared to conventional indices, suggesting improved sensitivity to dense vegetation. Correlation analysis demonstrated that while traditional indices (EVI, EVI2, SAVI) show strong mutual correlation, NDVI displays slightly lower correlation due to saturation issues. Notably, EVI-S exhibits a high correlation with NDVI, indicating retained similarity despite improved formulation. EVI-S is particularly effective in analyzing urban and mixed landscapes, where conventional indices may underestimate vegetation presence. Its wider dynamic range and increased sensitivity make it useful for monitoring vegetation growth and biomass, especially in forests and agricultural areas. Further studies are needed to assess its application in urban environments, where heterogeneous vegetation cover may impact accuracy. The findings demonstrate that EVI-S can complement traditional indices, offering enhanced sensitivity in contexts where accurate vegetation density analysis is necessary. Its practical application is promising for crop monitoring during growth periods and for evaluating dense forest areas.

K e y w o r d s: Remote sensing, condition of vegetation, desertification, index saturation, satellite images.

Stavetska R., Dyman T., Vakula B. Climate change and goat farming interactions. *Agroecological journal*. 2025. No. 2. P. 68–77.

Bila Tserkva National Agrarian University

e-mail: rstavetska@gmail.com

The growth of the population on our planet poses new challenges to the agricultural sector both crop production and livestock. Increasing the number of farm animals and poultry to provide the population with products of animal origin but it inevitably leads to an increase in the negative impact on the environment through enteric fermentation, manure, forage production, etc. This is a fairly significant source of greenhouse gas emissions that cause climate change. Under such conditions, it is advisable for the production of livestock products to use livestock species that are most adapted to high air temperatures. Goat farming can be defined as such industry. The aim of the work is to summarize published data on the impact of heat stress on the body of goats, their growth, development, productivity and reproductive ability, as well as to find ways for goats to adapt to heat stress. It was found that goats are characterized by a high ability to adapt to different climatic conditions due to behavioral, genetic, physiological and morphological mechanisms that ensure the thermoregulation of their body. Heat stress in goats occurs at ambient temperatures above 38°C, which significantly exceeds the threshold for heat stress in other types of farm animals. Heat stress negatively affects the immune and endocrine systems of goats, their growth and development, reproductive ability of females and males, dairy, meat and cashmere productivity. The effects of

heat stress on animals can be mitigated by optimizing feeding and keeping conditions, as well as by using goat breeds and populations that are characterized by high heat tolerance. In Ukraine, the issue of heat tolerance of farm animals has not been investigated before, since it was irrelevant in our climatic zone. Currently, research is being conducted in the world at the physiological, behavioral and genetic levels to identify breeds and populations of goats that are characterized by high acclimatization ability and are heat tolerant. Genes have been identified that can serve as genetic markers of goat tolerance to heat stress, but this issue requires additional research and confirmation in different goat populations.

K e y w o r d s: goats, heat stress, body response, growth and development, reproductive capacity, productivity, adaptation, thermotolerance.

Nakonechnyi I.¹, Skoryk S.², Khodosovtseva Yu.² Current state of terrestrial theriofauna in the agro-landscape of the Ingulets-Dnieper interfluvium on the example of the national nature park «Kamyanska Sich». *Agroecological journal*. 2025. No. 2. P. 78–90.

¹*Admiral Makarov National University of Shipbuilding*

²*Kamyanskaya Sich National Nature Park*

e-mail: Nakonechniigor777@gmail.com

The paper presents the results of a generalized analysis of the species structure and the current state of the theriofauna of Kamyanska Sich National Park, considered against the background of the destruction of the Kakhovka reservoir and the latest change in environmental conditions. A detailed list of the species composition of theriofauna for the period 2019–2024, which combines 47 species, demonstrates the latest situational structure of modern faunal communities of the Park. The latter combine the native components of the zonal-steppe core, inhabitants of wetland-floodplain biotopes of the Dnieper valley and representatives of the adventitious group of species. This theoretical complex was formed and has been functioning for a long time in conditions of powerful agrogenic and man-made pressure, complicated in recent years by military destruction. At the same time, the existing species composition of terrestrial theriofauna is representative of the current state of faunal complexes of the territory of the Ingulets–Dnieper interfluvium, focusing on the threat of losses of highly specialized steppe aborigines. Traditionally, for the Steppe, the greatest species diversity is characteristic of representatives of Muriformes (7 families, 15 genera, 21 species) and Caniformes (2 families, 8 genera, 14 species). Among them, the purely steppe stenotopes are the steppe ferret (Eversman's), the common mole rat, the Podolsk mole rat, the steppe mouse, the gray hamster and the large tushkan, a total of 6 species of 6 genera of 5 families. At the end of the twentieth century, the right-bank-steppe species core of the Lower Dnieper, due to the speckled ground

squirrel *S. suslicus*, which existed at that time, was represented by 7 species of 7 genera of 6 families. Of the extinct species over the past 70 years, it is possible to confidently indicate only two species – this is the ferret-banded *V. peregasna* and the speckled ground squirrel *S. suslicus*. At the beginning of 2025, only a small proportion of native species of the steppe (5) and near-water complex (3) retain their presence, several species have disappeared (2–5) and 8 species new to this territory have appeared. At the same time, in the conditions of deep transformations of the environment and economic activity, almost all components of the local theriofauna have undergone significant quantitative changes. Consideration of retrospective factual material demonstrates that the structure of the local terrestrial theriofauna underwent the most significant changes in the mid-late XVIII century, early to mid-XIX century, in the 50s of the twentieth century, and in the period 2012–2024. Their main reasons were socio-economic factors that initiated agrarian and man-made transformations of the natural environment. The latest changes in recent years regarding the species composition of mammals of the right-bank steppes and the adjacent valley of the Dnieper are due to the complex influence of natural and climatic factors and man-made factors, including military origin.

Key words: mammals of the Lower Dnieper, species structure of theriofauna, steppe stenotopes, rare theriofauna of the Dry Steppe.

Moskalenko A.¹, Kolosha V.² The circular economy paradigm in modern research. Agroecological journal. 2025. No. 2. P. 91–99.

¹*Institute of Agricultural Microbiology and Agro-industrial Manufacture of NAAS*

²*Institute of Agroecology and Nature Management of NAAS*

e-mail: ekomam2017@gmail.com

The article analyses the concept of circular economy, its relationship with sustainable development and other areas of economic research. It is emphasised that today the issues of circular economy include waste recycling, renewable energy sources, preservation of natural environments, and social aspects. The purpose of the work is to assess the place and the role of the circular economy at the current stage of the agricultural sector development, define the concept of «circular economy paradigm», assess the dynamic processes of soil fertility reproduction from the perspective of circular processes. The authors have formed their own vision of the «circular economy paradigm» concept as a production activity based on minimising the involvement of new natural resources in the production process, while minimising the consumption of non-renewable energy. The coefficient of circular nutrient recovery is offered. This coefficient was tested on the example of Ukraine, Poland and Canada for the period 1992–2020. It was found that

the level of circular recovery of nutrients, especially nitrogen, is decreasing in Ukraine. The main factor of this process was a decrease in nitrogen supply due to a manure application reduction. It is concluded that this trend is the main factor in the overall decrease in the value of the circular nutrient recovery coefficient proposed by us. In turn, the decrease in manure supply is due to a significant reduction in the number of livestock. In addition, since 2011, nitrogen supply has decreased due to its biological fixation, which is associated with gradual changes in the structure of sown areas. There has also been a decline in phosphorus recovery since 2006. In Poland and Canada, nutrient recovery rates have been relatively stable. This raises strategic questions regarding the further development of the entire agricultural sector and the need for a special state policy to change the situation. This policy should be aimed at maintaining biodiversity, developing organic production, the circularity of the entire agricultural sector. The question arises of the influence of the structure of agricultural production on the level of circularity of the economy, in particular the livestock sector. It is also emphasized that the practice of other countries in the development of circular business models in the agricultural sector requires a separate study.

Key words: nutrients, organic farming, sustainable development, nutrient recovery factor.

Hunchak M.¹, Palamarchuk R.², Pasichnyak V.³ Soil fertility state of the foothill zone in Chernivtsi region. Agroecological journal. 2025. No. 2. P. 100–108.

¹*Chernivtsi Regional Center of the State Institution «Institute of Soil Protection of Ukraine»*

²*State Institution «Institute of Soil Protection of Ukraine»*

³*South-Western Interregional Center of the State Institution «Institute of Soil Protection of Ukraine»*

e-mail: chernivtsy_grunt@ukr.net

The results of the agrochemical survey of agricultural lands of the foothill zone of Chernivtsi region in the XI round (2016–2020) are given. It was established that in terms of soil acidity in the foothill zone of the region, weakly acidic soils (35.8%) and soils close to neutral (34.0%) prevail. The weighted average saline pH corresponds to a close to neutral reaction of the soil solution and is 5.6 units. Compared to the previous round of the survey, the weighted average pH increased by 0.1 unit. According to the level of humus provision, soils with an average humus content (73.8%) and with a low humus content (21.2%) prevail, and the weighted average humus content in the foothills zone of the region is 2.3%, which corresponds to its average content. Compared to the previous round of the survey, the weighted average humus content increased by 0.1%. In the foothill zone of Chernivtsi region, the largest number of lands have

a very low (28.3%) and low (70.8%) content of easily hydrolyzable nitrogen. The weighted average content of easily hydrolyzable nitrogen is 110.0 mg/kg of soil, which corresponds to a low supply of this element. When compared with the previous round of the survey, the weighted average content of easily hydrolyzable nitrogen for the reporting period increased by 0.4 mg/kg. In the foothill zone of Chernivtsi region, lands with an average content (43.2%) and a low content (23.8%) of mobile phosphorus compounds prevail, and the weighted average content of mobile phosphorus compounds is 84 mg/kg, which corresponds to an average supply. Compared with the previous round of the survey, the weighted average content of phosphorus increased by 8.0 mg/kg. In terms of the content of mobile potassium compounds, lands with a high content (40.9%) and very high content (34.0%) prevail, and the weighted average content of mobile potassium compounds is 122 mg/kg, which corresponds to a high supply of this element. Compared to the previous round of the survey, the weighted average content of potassium increased by 18.3 mg/kg. It was found that in the areas of the foothill zone of Chernivtsi region, the largest area is occupied by soils of average quality: 44.0% of the surveyed lands belong to the V quality class and 35.1% of the lands belong to the VI quality class, and the weighted average assessment of agricultural lands of the foothill zone of Chernivtsi region is 48, which corresponds to the VI class of medium quality lands. A comparison of the qualitative assessment of soils in the foothill zone of Chernivtsi region was also carried out for the 10th (2011–2015) and 11th rounds (2016–2020) of agrochemical surveys. Compared to the previous round of ecological and agrochemical surveys, the average score for the districts of the foothill zone of the region increased from 41 to 48. The qualitative assessment of the condition of the lands of Storozhynets district improved by 13 points, and the qualitative assessment of the soils of Hertsa, Vyzhnytsia and Hlyboka districts by 3–6 points, which is associated with an increase in the rates of application of phosphorus and potassium fertilizers, as well as an increase in the volume of application of elements of biologization of agriculture.

Key words: monitoring, agroecological survey, acidity, land quality score, qualitative assessment of land.

Levishko A., Mamenko P. Microbial fertilizers and ways to optimize the efficiency of their use in crop production. *Agroecological journal*. 2025. No. 2. P. 109–122.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: alodua2@gmail.com

Biofertilizers represent the most widespread category of bioproducts in the agricultural market, with steadily increasing demand each year. This review

focuses exclusively on classical bioformulations – those that contain live microbial cells. According to market data, nitrogen-fixing microorganisms account for the largest share of global biofertilizer consumption (approximately 79%), followed by phosphate-mobilizing microorganisms (around 15%). These figures are based on analytical reports from international research agencies and industry market reviews. One of the most well-documented examples of effective microbial use is the inoculation of legume seeds with symbiotic *Rhizobium* strains. It has been shown that host plants balance the benefits of nitrogen fixation with the carbon costs of nodule formation. To optimize this symbiosis, legumes employ feedback regulation systems (both negative and positive) that respond to infection levels and soil nutrient availability. A localized «nitrogen-sensing» mechanism allows the plant to control the formation of new nodules. Therefore, the application of high doses of mineral nitrogen fertilizers can suppress the symbiosis entirely, even when seeds are treated with high-quality bioinoculants. External factors such as soil type, moisture, temperature, and pH significantly influence *Rhizobium* activity, nodule development, and nitrogen fixation efficiency. Special attention is given to free-living and associative nitrogen-fixing bacteria, which, in addition to atmospheric nitrogen fixation, offer additional agronomic benefits – improvement of soil structure through the production of exopolysaccharides that bind soil particles and synthesis of phytohormones and biologically active compounds that stimulate chloroplast development and enhance plant stress resistance. The paper highlights the importance of understanding phosphorus dynamics in soil. One of the most promising approaches to increasing phosphorus availability is the use of phosphate-mobilizing microorganisms. Mechanisms of solubilization of both organic and inorganic phosphates, as well as microbial mobilization of potassium and iron, are described in detail. The potential of siderophore-producing microorganisms is also emphasized. These compounds enhance the uptake of poorly available iron by plants and contribute to the detoxification of soils contaminated with heavy metals. Finally, the paper reviews key indicators of microbial biofertilizer efficacy, common application errors, and storage requirements essential for maintaining microbial viability.

Key words: biofertilizers, sustainable agriculture, plant growth-promoting rhizobacteria.

Lishchuk A., Parfeniuk A., Karachynska N. Segetal phytobiota as a factor of ecological risks in agrophytocenoses under climate change conditions. *Agroecological journal*. 2025. No. 2. P. 123–133.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: lishchuk.alla.n@gmail.com

This study provides a comprehensive analysis of global scientific data concerning the impact of segetal

phytobiota as one of the key factors of ecological risks in agrobiocenoses, particularly under climate change conditions, which act as a powerful abiotic stress factor. In this study, weeds are considered as indicators of disturbances in the functioning of agroecosystems and soil degradation. It has been established that the level of weed infestation can serve as a marker of the adaptive potential of agrophytocenoses to abiotic stresses. Modern scientific studies on the influence of key environmental factors under climate change conditions such as temperature stresses, droughts, excessive moisture, decreased soil fertility, humification loss, and soil microbiota imbalance on the structure and dynamics of agrophytocenoses are analyzed. Special attention is paid to changes in the species composition of weeds, particularly the spread of invasive and adventive species, which confirm high ecological plasticity, competitiveness, and ability to form dominant groups even under intense anthropogenic influence. The authors developed a five-level scoring scale for assessing ecological risks in agrophytocenoses based on their weed infestation level – from minimal (1 point) to high (5 points). This approach allows for assessing the level of ecological risks in an agroecosis and rationally planning measures to control its phytosanitary state. It is shown that the level of ecological risk in crop fields is determined by the degree of agroecosis weed infestation. It is proven that the reduction of ecological risk during ontogenesis is achieved through the application of agrotechnologies that regulate the level of weed infestation in agroecosis and influence their development. The data obtained by the authors confirm that a reduction in ecological risk in agroecosis is possible through timely ecological monitoring and the implementation of a complex of preventive, agrotechnical, and protective measures that promote increased adaptive resistance of agrophytocenoses and regulate their phytosanitary state. It has been established that the high ecological plasticity and adaptive properties of segetal vegetation contribute to the formation of zones within agrophytocenoses where weeds displace cultivated species, promoting the spread of herbicide-resistant populations. Such processes create ecological risks due to threats to biodiversity and a decrease in the ecological stability of agroecosystems.

Key words: phytosanitary status, agroecosis, abiotic stresses, invasive species, biodiversity, herbicide resistance, plant competition.

Yakymovych M.¹, Tertychna O.^{1,2}, Pinchuk V.¹ Ecological impact and agronomic value of using biopreparation Componaza for composting cattle bedding manure. *Agroecological journal*. 2025. № 2. P. 134–141.

¹*Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

²*Institute of Agricultural Microbiology and Agroindustrial Manufacture of NAAS*

e-mail: olyater@ukr.net

The influence of the introduction of microorganisms, as part of the biological preparation Componaza, namely fungi of the genus *Trichoderma viride*, *Trichoderma harzianum*, viable bacteria *Bacillus subtilis*, an association of oil-oxidising microorganisms *Rodex*, *Azotobacter chroococcum*, *Enterobacter*, *Enterococcus faecium*, on the process of aerobic composting of cattle manure using an aerator with an applicator. It has been proven that the use of the Componaza product in the composting process stabilises volatile ammonia compounds in compost, with their subsequent conversion into nitrites and nitrates. Unpleasant odour is reduced, the compost is formed without energy loss, and macro- and microelements are converted into a form accessible to plants. Compost is enriched with beneficial microorganisms, which contributes to the accelerated formation of a humified substrate. The studied biological product participates in various phases of composting, affects the heating time of raw materials, and influences the quality of the final compost material. It was found that when using the biological product, the litter manure had a higher intensity of destruction and conversion of the carbon component, and had better homogeneity and structure of the raw material. Higher levels of available forms of elements in the finished compost were recorded. The experimental variant with the biological preparation showed a higher content of available elements according to the results of agrochemical analysis, on average, by 20%, as well as optimal levels of organic matter and ash. It was established that inoculation of the input material with a complex of microorganisms for composting affects the course of the composting phases and the quality of the compost obtained. Compost obtained by this method had a positive aftereffect on yield, which additionally made it possible to reduce the application rates per hectare. Additionally, the value of compost can be adjusted by introducing beneficial microorganisms directly into the finished organic fertiliser. Such practices are known and used in cold pressing technology for the production of granules in combination with Strip-till technological solutions. Among the unresolved issues are insufficient awareness of the specifics of composting technology for various by-products, the complexity of scaling the technology in developing countries, the need for unified quality standards, insufficient promotion of environmental culture among livestock producers, and the study of the impact of preparations based on associations of microorganisms on the quality and agronomic value of compost, as well as the environmental consequences of its use, require more in-depth research. Thus, inoculation of raw materials, namely the addition of groups of microorganisms in the composition of Componaza biological preparation during aerobic composting of cattle by-products, significantly increases the efficiency of the by-product bioprocessing process, allowing high-

quality compost to be obtained. Adding the biological product Componaza to compost contributed to an increase in the level of available forms of NPK by up to 20%, which confirms the effectiveness of using the biological product Componaza in the processing of cattle manure. The use of compost in agriculture will reduce the use of chemical fertilisers and pesticides, which have negative environmental consequences. At the same time, greenhouse gas emissions are reduced, the phytosanitary condition of the soil is improved, and weed infestation is reduced, which proves the effectiveness of using the biological product in composting cattle manure.

Key words: animal by-products, microorganisms, total nitrogen, ammonia, nitrates, nitrites, organic fertiliser, organic matter, fertility, soil.

Bunas A., Dvoretzkyi V., Tkach Ye., Sherstoboeva O. Biofilm formation on roots of agricultural crops by microorganisms-agents of organo-mineral fertilizer Diamond grow of HUMI [K] BIO+ «PLUS» brand. Agroecological journal. 2025. No. 2. P. 142–147.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: bio-206316@ukr.net

The soil microbiome of agricultural crops is a key component of agroecosystems, influencing the growth, development and resilience of plants in the agrocenosis. All plant-microorganism interactions are not random and are the result of long-term coevolution, often leading to associations in which the host (plant) and its microbiota cooperate in a mutually beneficial manner. Biofilm formation is a strategy used by microorganisms to stably colonize the root surface of plants. Biofilms consist of microorganisms embedded in a self-produced extracellular matrix that provides protection against environmental stresses and plant immune responses. The study of the ability of microorganisms to form biofilms and adhesion on plant roots is one of the elements of the formation of the microbiome of agricultural plants under the action of biological preparations, individual strains or multicomponent compositions of soil microorganisms. Understanding the process of biofilm formation on plant roots allows us to predict and develop strategies for interactions between plants and microorganisms to mitigate abiotic stress, namely drought, salinization and heavy metal pollution and the formation of sustainable productive agroecosystems. In a laboratory experiment, the adhesive properties and ability to form biofilms of microorganisms-agents of the Diamond grow organic-mineral fertilizer brand HUMI [K] BIO+ «PLUS» (OMD DG H[K]B «Plus») on the roots of seedlings of test crops of agricultural plants were determined. The uniqueness of OMD DG H[K]B «Plus» lies in the fact that its composition combines a complex of macro and microelements, humic acids, algae extract, and a complex of strains of 16 microorganisms of the genera *Bacillus*, *Glomus*

Rhizopogon, *Pisolithus*, *Scleroderma*. A number of agricultural plants were selected as test crops: spring wheat Tokata, barley Sebastian, corn Khorol, cucumber Rodnychok F₁, sweet pepper Ivanhoe, tomato Sanka, zucchini Eleonora F₁, beans Shahinya, chickpeas Triumph, vegetable peas Dragon, seed peas Maecenas, pumpkin West. During the study, it was found that the level of biofilm formation and formation on the roots of seedlings of test crops significantly depended on the species of plants, and less on the concentration of the applied OMD DG H[K]B «Plus». After 48 hours of the study, the formation of biofilms was noted on the roots of all the studied test crops, but with different levels of formation. It was found that the lowest density of biofilm was demonstrated by test crops of the Fabaceae family, the highest by Poaceae. As a result of the study, it was found that the intensity of biofilm formation and microbial adhesion decreased in the following sequence: corn > wheat > barley > tomatoes > peppers > cucumbers > zucchini > field peas > chickpeas > vegetable peas > beans.

Key words: biofilms, adhesion, roots, soil, microbiome, microbial communities, consortia.

Poltava O., Demyanyuk O. Efficiency of foliar feeding of corn (*Zea mays* L.) in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Agroecological journal. 2025. No. 2. P. 148–155.

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS

e-mail: o.poltava@profi.land

Ensuring a balanced nutrient supply for corn plants, particularly during critical growth stages, is essential for achieving high and stable grain yields. In modern technologies, more and more attention is paid to alternative forms of fertilization, in particular foliar feeding of plants. This method of fertilization allows you to quickly correct the deficiency of macro- and microelements in critical phases of crop development and provide it with the necessary nutrients, especially in conditions of moisture deficiency or with reduced activity of the root system. This article presents the findings of field experiments conducted during 2022–2024, investigating the application of liquid organo-mineral fertilizers such as Eurostim Amino, BioHumate, and Ceovit AntiStress Multi for foliar feeding of different corn hybrids. These fertilizers are enriched with macro- and micronutrients as well as biologically active substances designed to support plant growth and development under stress conditions. The results demonstrated that the plant response to foliar feeding varied significantly depending on the genotype of the corn hybrid. Overall, foliar application of organo-mineral fertilizers during critical development phases positively influenced plant growth parameters. Specifically, an increase in plant height by an average of 4–12% and ear attachment height by 29–50% was observed compared to the control. Additionally, improvements were recorded

in the number of ears per hectare and in the weight of 1000 grains. Among the tested hybrids, Meghan (FAO 250) showed the most pronounced response to Ceovit AntiStress Multi, achieving the highest grain yield of 11.17 t/ha, which represented a yield increase of 1.33 t/ha over the control. This treatment also resulted in an increase in the 1000-grain weight by 10.1 g and a higher percentage of plants bearing two ears (up to 21%). For the Model (FAO 280) and Orilskai (FAO 320) hybrids, the most effective treatment was Eurostim Amino, which led to yield increases of 0.76 t/ha and 0.52 t/ha, with total yields reaching 10.97 t/ha and 11.14 t/ha, respectively. Efficiency calculations further indicated that the highest grain output from Meghan (FAO 250), at 84.1–84.2%, was achieved under the application of Ceovit AntiStress Multi and Eurostim Amino. For Model (FAO 280), the highest efficiency (84.7%) was obtained with BioHumate, while Orilskai (FAO 320) achieved 83.3% efficiency with Eurostim Amino. The findings underscore the practical value of incorporating foliar feeding with organo-mineral fertilizers into adaptive agro-technologies in the Left-Bank Forest-Steppe zone of Ukraine. This practice supports enhanced realization of the genetic potential of early- and mid-ripening corn hybrids and contributes to improved grain yield and quality under varying climatic conditions. The use of such targeted nutrient management strategies offers a sustainable approach to increasing maize productivity and resilience in modern crop production systems.

Key words: organo-mineral fertilizers, yield, biometric parameters, plant height, ear attachment height.

Sukhina D. Formation of leaf surface area of sorghum (*Sorghum*) grain hybrids depending on plant quantity and application of growth regulator. *Agroecological journal*. 2025. No. 2. P. 156–162.

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

e-mail: sukhina.denis@gmail.com

This research evaluates the influence of hybrid composition, plant density, and plant growth regulator (PGR) application on the dynamics of leaf surface area in grain sorghum. The study was conducted during 2022–2024, with data averaged across years to establish reliable patterns of crop development under varying conditions. Five grain sorghum hybrids (Kalatur, ES Alize, ES Foen, Albanus, and ES Musson) were studied at three plant densities (170, 200, and 230 thousand plants/ha) with and without plant growth regulator application. Leaf surface area was measured at four critical growth stages: stem elongation, panicle emergence, flowering, and waxy ripeness. Stem Elongation Stage. The smallest variation in leaf surface area between hybrids was observed during the stem elongation phase (0.2–0.7 thousand m²/ha). At plant density of 170 thousand plants/ha, the control

variants showed leaf area of 11.0–11.9 thousand m²/ha depending on the hybrid, while PGR application increased this parameter by 2.5–3.6% to 11.4–12.2 thousand m²/ha. Significant improvement was recorded when increasing plant density to 200 thousand plants/ha, reaching 13.2–13.5 thousand m²/ha in control variants and 13.6–14.2 thousand m²/ha with PGR application. Further increasing plant density to 230 thousand plants/ha resulted in varying responses: the Kalatur hybrid showed a 0.7% decrease in leaf surface area (13.3–13.8 thousand m²/ha) in the control variant, while other hybrids demonstrated an increase of 0.7–2.2%. Conversely, when applying PGR at this density, the Kalatur, ES Alize, ES Foen, and ES Musson hybrids showed decreased leaf area by 0.7–2.9%, while the Albanus hybrid with PGR recorded a 1.4% increase. Panicle Emergence Stage. At panicle emergence, a direct proportional relationship between plant density and leaf surface area was observed. The smallest leaf area was recorded for the Albanus hybrid at 170 thousand plants/ha in the control variant (20.5 thousand m²/ha), followed by ES Musson (20.7 thousand m²/ha), Kalatur (21.0 thousand m²/ha), ES Foen (21.4 thousand m²/ha), and ES Alize with the maximum area of 21.6 thousand m²/ha. PGR application at this density increased leaf area by 5.7% for Kalatur, 2.7% for ES Alize, 2.8% for ES Foen, and 2.4% for both Albanus and ES Musson. When plant density was increased to 200 thousand plants/ha, leaf surface area in control variants reached 21.2–24.5 thousand m²/ha, representing increases of 10.5% for Kalatur, 13.4% for ES Alize, 11.6% for ES Foen, 3.9% for Albanus, and 2.4% for ES Musson. PGR application at this density further enhanced leaf area to 21.8–24.8 thousand m²/ha across all variants. Increasing plant density to 230 thousand plants/ha resulted in modest improvements in leaf area on control variants, with increases ranging from 0.4% (ES Alize) to 3.3% (ES Musson). However, no substantial increase was observed in the PGR-treated variants compared to the same hybrids at 200 thousand plants/ha. Flowering Stage. The flowering phase was characterized by maximum leaf surface area across all variants. At 170 thousand plants/ha, control variants ranged from 25.5 to 26.6 thousand m²/ha, while PGR application increased values to 25.8–27.3 thousand m²/ha. Increasing density to 200 thousand plants/ha resulted in significant leaf area expansion across all experimental plots: the ES Alize hybrid achieved the highest value (30.1 thousand m²/ha in control and 30.5 thousand m²/ha with PGR), while ES Musson showed the lowest values (26.1 thousand m²/ha in control and 26.8 thousand m²/ha with PGR). PGR application at this density increased leaf area by 1.3–2.8% depending on the hybrid. Similar to the panicle emergence phase, no significant improvement in leaf surface area was observed when increasing plant density to 230 thousand plants/ha. Waxy Ripeness Stage. The waxy ripeness phase was characterized by gradual reduction in leaf surface area due to natural

senescence of lower-tier leaves. The lowest leaf area was recorded in control variants at 170 thousand plants/ha, ranging from 17.1 to 18.4 thousand m²/ha. PGR application resulted in increased leaf area by 1.7–6.4% across hybrids. Variants with 200 thousand plants/ha density showed substantially higher leaf surface area, with control treatments ranging from 18.0 to 20.8 thousand m²/ha. PGR application at this density increased leaf area by 0.9–2.5%, with ES Alize showing the highest value (21.1 thousand m²/ha) and ES Musson the lowest (18.3 thousand m²/ha). Further increasing plant density to 230 thousand plants/ha led to decreased leaf surface area, with control variants ranging from 16.5 to 19.7 thousand m²/ha. PGR application at this density did not significantly differ from control variants, indicating limited effectiveness of growth regulator use at high plant densities. The study demonstrates that leaf surface area in grain sorghum is significantly influenced by hybrid selection, plant density, and growth regulator application. Optimal leaf area development was consistently achieved at 200 thousand plants/ha across all hybrids, with ES Alize generally demonstrating superior performance. PGR application was most effective at lower and medium plant densities but showed limited benefits at high plant density (230 thousand plants/ha). These findings provide valuable guidance for optimizing grain sorghum cultivation practices to maximize photosynthetic potential and ultimately enhance productivity.

Key words: photosynthesis, biostimulant, seaweed extract, vegetation, assimilation surface area.

Smulska I.¹, Kichigina O.², Topchii O.¹, Mykhailyk S.¹, Khomenko T.¹, Korol L.¹ Evaluation of new high-oleic sunflower (*Helianthus L.*) hybrids for yield and seed quality. Agroecological journal. 2025. No. 2. P. 163–174.

¹ *Ukrainian Institute of Plant Varieties Examination*

² *Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS*

e-mail: seednlen@ukr.net

The State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine as of April 2024 contains 1.104 hybrids of annual sunflower: of which 730 hybrids or 66.1% are of foreign selection and 374 hybrids or 33.9% are of domestic selection. 83 hybrids belong to the high-oleic group. The qualification examination of annual sunflower hybrids for suitability for distribution in Ukraine (PSP) was carried out at the

research stations of the Ukrainian Institute of Plant Variety Examination within the soil and climatic zones of the Steppe and Forest-Steppe of Ukraine during 2022–2023 for seven new high-oleic annual sunflower hybrids 'LG50648', 'F2687 Tsl', 'F4413VO', 'MAS 908HOCP', 'N4H413 KL', 'N4L460 CL', 'SULIANO'. The research was conducted in accordance with the «Methodology for conducting a qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine (General Part)» and «Methodology for conducting an examination of plant varieties of the technical and fodder group for suitability for distribution in Ukraine». Their comprehensive evaluation was carried out according to the main economic and valuable indicators: yield, oil content, oleic acid content, protein content. It was found that the average yield of hybrids grown in the Forest-Steppe zone over two years of research was within 2.77–3.71 t/ha and exceeded the yield of hybrids grown in the Steppe zone, which was 2.10–2.90 t/ha. The highest average yield, both in the Forest-Steppe and the Steppe, was characterized by the hybrids 'SULIANO' and 'LG50648', respectively – 3.39 and 2.91 t/ha and 2.84 and 2.76 t/ha and the hybrid 'N4H413 KL', the yield of which, both in the Forest-Steppe and the Steppe was 2.90 t/ha. The highest oil content in seeds when grown in the Forest-Steppe zone was characterized by the seeds of the hybrids 'LG50648' – 53.3% and 'F2687 Tsl' – 51.3%, and in the Steppe zone – 'LG50648' – 51.0%, 'F4413VO' – 49.8%. The highest values of oil yield per hectare were characterized by the hybrids 'MAS 908HOCP' – 1.64 t/ha and 'SULIANO' – 1.49 t/ha in the Forest-Steppe zone, and in the Steppe zone – 'N4H413 KL' – 1.27 t/ha and 'LG50648' – 1.24 t/ha. The oleic acid content in the oil varied from 72.1 to 86.5%. In the Steppe zone, the highest values were obtained in the hybrid 'LG50648' – 86.5%, and the lowest – in 'F4413VO' – 80.0%. In the Forest-Steppe zone, the oleic acid content in the oil of the studied hybrids was somewhat lower. The maximum value was characterized by the hybrid 'SULIANO' – 86.2%, and the lowest – by 'N4L460 CL' – 72.1%. According to the results of the qualification examination for suitability for distribution, it was established that all seven studied sunflower hybrids are characterized by high indicators of productivity and seed quality and are recommended for cultivation in the Steppe and Forest-Steppe zones of Ukraine.

Key words: qualification examination, productivity, oil content, oleic acid content, linoleic acid content, protein content.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

БАРАНОВСЬКА Наталія Анатоліївна, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут агро-екології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: baranovska23074@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4391-7174>)

БУНАС Альона Анатоліївна, кандидат біологічних наук, старший дослідник, Інститут агро-екології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: bio-206316@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4806-7004>)

ВАКУЛА Богдан Володимирович, Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Київська обл., Україна (e-mail: vakulab@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7105-6112>)

ВАСІЛЬЄВ Дмитро Петрович, Інститут агро-екології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: freimaster.af@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0578-3539>)

ГУНЧАК Михайло Володимирович, кандидат сільськогосподарських наук, Чернівецький регіональний центр державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», м. Чернівці, Україна (e-mail: chernivtsy_grunt@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3521-8531>)

ДВОРЕЦЬКИЙ Володимир Володимирович, Інститут агро-екології 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 агро-екології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: demolena@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4134-9853>)

ДИМАНЬ Тетяна Миколаївна, доктор сільськогосподарських наук, професор Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Київська обл., Україна (e-mail: tetyanadyman@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6428-1476>)

ІЛЬЄНКО Тетяна Володимирівна, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут агро-екології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: tilienko@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5406-5449>)

КАРАЧИНСЬКА Надія Василівна, кандидат біологічних наук, Інститут агро-екології і при-

родокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: karachinskan051177@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6571-8430>)

КІЧІГІНА Ольга Олександрівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Інститут агро-екології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: seednlen@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0879-627X>)

КОЛОША Валерій Петрович, кандидат економічних наук, Інститут агро-екології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: piskivske@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3946-6775>)

КОНЩУК Василь Васильович, доктор біологічних наук, професор, Інститут агро-екології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: konishchuk_vasylyl@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4115-5642>)

КОРОЛЬ Лариса Володимирівна, кандидат сільськогосподарських наук, Український інститут експертизи сортів рослин, м. Київ, Україна (e-mail: larysa_korol@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1414-0015>)

КУЧМА Тетяна Леонідівна, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут агро-екології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: tanyakuchma@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9328-5919>)

ЛЕВІШКО Алла Сергіївна, кандидат біологічних наук, старший дослідник, Інститут агро-екології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: alodua2@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4037-1730>)

ЛІЩУК Алла Миколаївна, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут агро-екології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: lishchuk.alla.n@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8339-9365>)

МАКДОНАЛЬД Ірина Миколаївна, Університет Форт-Гейс, кафедра сільського господарства, м. Гейс, штат Канзас, США (e-mail: i_mcdonald@fhsu.edu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4515-3305>)

МАМЕНКО Павло Миколайович, кандидат біологічних наук, старший дослідник, Інститут агро-екології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: p_mamenko@ukr.net;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9945-8462>)

МИХАЙЛИК Світлана Миколаївна, кандидат сільськогосподарських наук, Український інститут експертизи сортів рослин, м. Київ, Україна (e-mail: svetlana.nik2519@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9981-0545>)

МОРОЗОВА Тетяна Василівна, кандидат біологічних наук, доцент, Національний університет водного господарства і природокористування, м. Рівне, Україна; Національний транспортний університет, м. Київ, Україна (e-mail: tetiana.morozova@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4836-1035>)

МОСКАЛЕНКО Анатолій Михайлович, доктор економічних наук, професор, Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН, м. Чернігів, Україна (e-mail: ekomam2017@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7223-6862>)

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>)

НАКОНЕЧНИЙ Ігор Володимирович, доктор біологічних наук, професор, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна (e-mail: Nakonechniigor777@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3797-3725>)

ОНИЩУК Ірина Петрівна, кандидат біологічних наук, доцент, Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир, Україна (e-mail: irinashpin@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2847-8570>)

ПАЛАМАРЧУК Роман Павлович, Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, Україна (e-mail: info@iogu.gov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5965-1305>)

ПАРФЕНЮК Алла Іванівна, доктор біологічних наук, професор, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: vereskpar@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0169-4262>)

ПАСІЧНЯК Василь Іванович, Південно-Західний міжрегіональний центр державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», с. Агрономічне, Вінницький р-н, Вінницька обл., Україна (e-mail: vinroducthist@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4144-261X>)

ПНЧУК 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/0000-0003-1000-7946>)

ПОЛТАВА Олександр Петрович, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: o.poltava@profi.land; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3007-6550>)

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/0000-0002-2524578>)

СКОРИК Сергій Валентинович, Національний природний парк «Камянська Січ», м. Берислав, Херсонська обл., Україна (e-mail: Skorikserg@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3797-3725>)

СМУЛЬСЬКА Іванна Володимирівна, Український інститут експертизи сортів рослин, м. Київ, Україна (e-mail: ivanna1973@i.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9675-0620>)

СТАВЕЦЬКА Руслана Володимирівна, доктор сільськогосподарських наук, професор, Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Київська обл., Україна (e-mail: rstavetska@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0149-1908>)

СТАРОДУБ Вікторія Іванівна, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: myrzavica88@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3883-9453>)

СУХІНА Денис Володимирович, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна (e-mail: sukhina.denis@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4352-1777>)

ТЕРТИЧНА Ольга Василівна, доктор біологічних наук, професор, Інститут агроєкології і природокористування НААН м. Київ, Україна; Інститут сільськогосподарської мікробіології та аграрного виробництва НААН, м. Чернігів, Україна (e-mail: olyater@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1000-7946>)

ТКАЧ Євгенія Дмитрівна, доктор біологічних наук, старший дослідник, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: bio_eco@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0666-1956>)

ТОПЧІЙ Оксана Володимирівна, кандидат сільськогосподарських наук, Український інститут експертизи сортів рослин, м. Київ, Україна

на (e-mail: otopchiy1992@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2797-2566>)

ТУПЧІЙ Ольга Миколаївна, Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна; Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна (e-mail: olgatyunikola@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0545-1877>)

ХОДОСОВЦЕВА Юлія Анатолівна, кандидат біологічних наук, Національний природний парк «Кам'янська Січ», м. Берислав, Херсонська обл., Україна (e-mail: Geleverya@i.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3797-3725>)

ХОМЕНКО Тетяна Михайлівна, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Український інститут експертизи сортів рослин, м. Київ, Україна (e-mail: tatiana_7077@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9199-6664>)

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>)

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>)

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/0000-00026135-8968>)

ШЕРСТОБОЄВА Олена Володимирівна, доктор сільськогосподарських 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>)

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>)

ЯКИМОВИЧ Максим Володимирович, Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, Україна (e-mail: m.yakimovich13@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0632-4995>)

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

Редакція «Агроекологічного журналу» приймає до розгляду оригінальні статті, підготовлені на високому науковому рівні, що мають важливе теоретичне, практичне значення та висвітлення результатів наукових досліджень вітчизняних та зарубіжних авторів. У журналі публікуються закінчені експериментальні і дослідні роботи, а також оглядові статті, які раніше не були надруковані за наступними напрямками: актуальні проблеми екології, аграрні науки і продовольство, біологічні науки, економічні науки, лісове господарство, технологія виробництва та переробки продукції тваринництва.

Кожна стаття обов'язково проходить перевірку на плагіат та анонімне рецензування провідними фахівцями з відповідного наукового напрямку. За висновком рецензента стаття може бути рекомендована до друку чи відхилена або повернена для доопрацювання.

Подані статті мають бути структуровані відповідно до вимог ВАК України щодо наукових статей (Постанова Президії ВАК України від 15.01.2003 р. № 7-05/1), зокрема:

- постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
- аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання визначеної проблеми, і на які спирається автор;
- виділення невіршених 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», «МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ», «РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ», «ВИСНОВКИ», «ЛІТЕРАТУРА».

Розділ «Аналіз останніх досліджень і публікацій», повинен розкрити стан досліджень проблеми у вітчизняній і світовій науковій літературі за останні 5 років.

В описі методики досліджень наводиться детальне викладення методів і методик з посиланням на першоджерело (схеми дослідів, повторність, методи лабораторного аналізу, методи статистичної обробки). Якщо в тексті є абрєвіатура, подавати її в дужках при першому

згадуванні. Автори мають дотримуватися правильної галузевої термінології (див. ДСТУ, СОУ), терміни мають бути уніфікованими.

Викладення результатів досліджень має заключатися не в переказі змісту таблиць і рисунків, а у визначенні закономірностей, що з них випливають. В обговоренні результатів слід показати причинно-наслідкові зв'язки між одержаними ефектами, порівняти одержані дані та показати їх новизну. Повторення одних і тих самих даних у тексті, таблицях, графіках неприпустимо.

Література (до 25 джерел) мовою оригіналу оформлюється відповідно до APA (American Psychological Association) стилю. На кожне джерело в списку літератури повинно бути хоча б одне посилання в тексті, яке слід вказувати у квадратних дужках із послідовною нумерацією.

Редакція рекомендує уникати посилання на роботи 10-річної давнини і більше. Посилання на власні роботи авторів статті допускається, однак не більше 10% від загальної кількості джерел.

Макет сторінки. Для оригінал-макета використовується формат паперу — А4, орієнтація — книжкова, поля з усіх сторін — 20 мм.

Гарнітури, розміри шрифтів та начертання: для заголовку статті та розділів: Times New Roman — 14 пт, напівжирний, прописні, великі літери; для УДК, основного тексту, анотацій, відомостей про авторів, підписів до рисунків та назв таблиць, літератури: Times New Roman — 14 пт; міжрядковий інтервал — 1,5; абзац — 1,25 см.

Типографські погодження та стилі. По центру у першому рядку сторінки вирівнюється тематична рубрика, до якої автор подав свою публікацію. Надалі індекс УДК набирається і вирівнюється за лівим краєм. Заголовок статті набирається в наступному за УДК рядку і вирівнюється посередині. Потім вказують: прізвища, ініціали авторів (ліміт — п'ять осіб), нижче — місце роботи/навчання, адреса електронної пошти, код ORCID автора (курсивом). Якщо автори з різних установ, після прізвища авторів та назв установ, у яких працюють/навчаються автори, слід проставити один і той самий верхній цифровий індекс. Далі розташовують анотацію та ключові слова мовою оригіналу статті (курсив); текст статті; відомості про авторів.

Таблиці мають бути виконані в Microsoft Office Word; формули — у редакторі формул MS Equation; графіки — у Microsoft Office Excel, фотографії — у форматі jpg, tif або надавати оригінали. Також всі рисунки (графіки) додатково надсилаються на окремому аркуші — у Microsoft Office Excel.

Відповідальність за зміст статті несе автор. Рукописів редакція не повертає.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

**Інститут агроекології
і природокористування НААН**

вул. Метрологічна, 12, Київ-143, 03143.

Довідки за тел. (044) 522-60-62;

e-mail: agroecojournal@ukr.net