

Міністерство освіти і науки України
Житомирський державний університет імені Івана Франка

Український журнал природничих наук

№ 16

Науковий журнал,
заснований у 2022 році



Видавничий дім
«Гельветика»
2026

*Видається за рішенням вченої ради Житомирського державного університету імені Івана Франка
(протокол 10 від 24.04.26 року).*

Головний редактор

Шелюк Юлія Святославівна – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Члени редакційної колегії:

Гарбар Олександр Васильович – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Жовнерчук Ольга Валентинівна – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу акарології Інституту зоології імені І. І. Шмальгаузена Національної академії наук України (Київ, Україна)

Капуста Анжей – PhD, Начальник відділу іхтіології, гідробіології і гідро екології Національного науково-дослідного інституту внутрішнього рибальства, Ольштин, Польща

Кестутіс Арбачіускас – доктор наук, професор, Головний науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут, Центр природничих досліджень та Центр наук про життя Вільнюського університету, Литва

Киричук Галина – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Листван Катерина Євгенівна – кандидат біологічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу генетичної інженерії Інституту клітинної біології та генетичної інженерії Національної академії наук України (Київ, Україна)

Пацюк Марина Костянтинівна – доктор біологічних наук, доцент, професор кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)(відповідальний секретар)

Семенюк Наталія Євгенівна – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу санітарної гідробіології та гідропаразитології Інституту гідробіології Національної академії наук України (Київ, Україна)

Студженас Вірмантас – PhD, старший науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут «Центр природничих досліджень» (Вільнюс, Литва)

Хомутовська Наталя – PhD, науковий співробітник кафедри біології захисту рослин Шведського університету сільськогосподарських наук (Уппсала, Швеція)

Наукове періодичне видання

Український журнал природничих наук: науковий журнал / [гол. ред. Шелюк Юлія].
Житомир: 2026. № 16. 368 с.

Реєстрація в Національній раді України з питань телебачення і радіомовлення (Рішення № 540 від 20.07.2023 р.).

Суб'єкт у сфері друкованих медіа – Житомирський державний університет імені Івана Франка
(вул. Велика Бердичівська, 40, м. Житомир, 10008, intel@zu.edu.ua, тел. (0412) 43-14-17)

Фахова реєстрація (категорія «Б»): Наказ МОН України № 491 від 27.04.2023 року (додаток 3)

Спеціальності: Е1 Біологія та біохімія, Е2 Екологія, Е3 Хімія, Е4 Науки про Землю,
С6 Географія та регіональні студії, Н1 Агрономія

Мови публікацій: українська, англійська.

Сайт видання: naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns
Макетування: Кузнєцова Н. С.

В усіх статтях збережено орфографію та пунктуацію авторів.

Дата розміщення онлайн: 22.05.2026. Дата друку: 29.05.2026.
Формат 60x90/8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 42,78. Тираж 300. Замовлення 0526/386

Видавничий дім «Гельветика»
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

© Житомирський державний університет імені Івана Франка, 2026

Ministry of Education and Science of Ukraine
Zhytomyr Ivan Franko State University

Ukrainian Journal of Natural Sciences

№ 16

Scientific journal,
founded in 2022



Publishing House
"Helvetica"
2026

*Approved for publication by the Academic Council of Zhytomyr Ivan Franko State University
(protocol № 10 dated from 24.04.26).*

Editorial Board

Editor-in-chief

Shelyuk Yulia – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Professor of the Department of Botany, Biological Resources and Conservation of Biodiversity, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Members of the Editorial Board

Harbar Oleksandr – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Head of the Department of Ecology and Geography, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Zhovnerchuk Olha – PhD (Biology), Senior Scientist of the Department of Acarology, I. I. Schmalhausen Institute of Zoology of NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Kapusta Andrzej – PhD, Head of the Department of Ichthyology, Hydrobiology and Aquatic Ecology, National Inland Fisheries Research Institute, Olsztyn, Poland

Kęstutis Arbačiauskas – Dr., Prof., Chief Resercher, State Scientific Research Institute Nature Research Centre and Vilnius, University Life Sciences Center, Lithuania

Kyrychuk Halyna – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Professor of the Department of Botany, Biological Resources and Conservation of Biodiversity, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Lystvan Kateryna – PhD (Biology), Senior Research Associate, Senior Researcher at the Department of Genetic Engineering, Institute of Cell Biology and Genetic Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Patsyuk Marina – Doctor of Sciences (Biology), Associate Professor, Professor of the Department of Botany, Biological Resources and Conservation of Biodiversity, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine) (Executive Secretary)

Semenyuk Nataliya – Doctor of Sciences (Biology), Senior Research Associate, Senior Scientist of the Department of Sanitary Hydrobiology and Hydroparasitology, Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Stunzenas Virmantas – PhD, Senior Research, State Scientific Research Institute «Nature Research Center» (Vilnius, Lithuania)

Khomutovska Natalia – PhD, Postdoctoral Researcher of the Department of Plant Protection Biology, Swedish University of Agricultural Sciences (Uppsala, Sweden)

Scientific Periodical

Ukrainian Journal of Natural Sciences / [editor Sheliuk Yuliia]
Zhytomyr: 2026. № 16. 368 p.

Registered by the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine (Decision No. 540 dated 20.07.2023).

Media entity – Zhytomyr Ivan Franko State University
(10008, Zhytomyr, Velyka Berdychivska Str., 40, intel@zu.edu.ua, tel. (0412) 43-14-17).

Professional registration (category «B»): Decree of MES No. 491 (Annex 3) dated 27.04.2023

Specialties: E1 Biology and Biochemistry, E2 Ecology, E3 Chemistry, E4 Earth Sciences,
C6 Geography and Regional Studies, H1 Agriculture

Publication languages: Ukrainian, English.

Website: naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns
Modelling: Kuznietsova N. S.

Authors' spelling and punctuation are preserved in the articles.

Published online: 22.05.2026. Print date: 29.05.2026.
Size 60x90/8. Offset Paper. Font Times New Roman
Digital printing. Conventional printed sheets 42,78. Number of copies 300. Order 0526/386

Publishing House "Helvetica" 65101,
Ukraine, Odesa, 6/1 Inglizi St.
Telephone: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Certificate of a publishing entity ДК No 7623 dated 22.06.2022

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

© Zhytomyr Ivan Franko State University, 2026



БІОЛОГІЯ

УДК 612.2:796.015.363:796.325-055.2

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.1>

ОЦІНКА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ДИХАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЖІНОК-ВОЛЕЙБОЛІСТОК У КОНТЕКСТІ СПОРТИВНОЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТА ВІДНОВЛЕННЯ

Н. М. Бовсуновська¹, І. П. Онищук²

Мета дослідження полягає у визначенні та оцінці функціональних можливостей дихальної системи жінок-волейболісток репродуктивного віку, а також виявленні адаптаційних реакцій організму залежно від рівня спортивної майстерності.

У дослідженні взяли участь 10 спортсменок віком 18–21 років, розподілених на дві групи за стажем занять волейболом (до 6 років та 7–10 років). Використовувалися антропометричні вимірювання, спірометрія, визначення артеріального тиску та інтегральні індекси функціональних резервів (ЖЄЛ, МВЛ, індекс Скібінського, вентиляційний індекс, індекс гіпоксії). Статистична обробка даних здійснювалася із застосуванням програмного забезпечення SPSS Statistics v.25. Встановлено, що спортсменки з більшим стажем тренувань характеризуються більш сприятливими показниками кардіореспіраторної системи: нижчою частотою серцевих скорочень, вищими значеннями життєвої ємності легень, довшою тривалістю фаз дихання та більшою контрольованістю роботи дихальних м'язів. Це свідчить про кращу адаптацію до фізичних навантажень, економнішу роботу серцево-судинної системи та вищі резерви вентиляційної функції легень. Водночас спостерігалася варіативність індивідуальних показників, що підкреслює необхідність індивідуалізації тренувальних програм.

Отримані результати підтверджують значущість функціональних можливостей дихальної системи для спортивної працездатності та відновлення жінок-волейболісток. Практичне значення дослідження полягає у використанні даних для оптимізації тренувального процесу, профілактики перевтоми та зниження ризику травм. Робота сприяє поглибленню знань про механізми адаптації жіночого організму до специфічних навантажень у волейболі та має прикладне значення для спортивної фізіології й медицини.

Ключові слова: дихальна система, спортивна працездатність, відновлення, волейбол, функціональні резерви, фізіологія.

¹ кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри медико-біологічних дисциплін
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Bovsunovska-N@zu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-8137-114X

² кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри екології та географії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Onyshchuk-I@zu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-2847-8570

ASSESSMENT OF THE FUNCTIONAL CAPACITIES OF THE RESPIRATORY SYSTEM IN FEMALE VOLLEYBALL PLAYERS IN THE CONTEXT OF SPORTS PERFORMANCE AND RECOVERY

N. M. Bovsunovska, I. P. Onyshchuk

The study aims to determine and evaluate the functional capacities of the respiratory system in female volleyball players of reproductive age, and to identify adaptive responses depending on the level of sports mastery.

The research involved 10 athletes aged 18–21 years, divided into two groups according to volleyball training experience (up to 6 years and 7–10 years). Anthropometric measurements, spirometry, blood pressure assessment, and integral indices of functional reserves (vital lung capacity, maximum voluntary ventilation, Skibinsky index, ventilation index, hypoxia index) were applied. Statistical analysis was performed using SPSS Statistics v.25 with variation statistics and Student's t-test.

Athletes with longer training experience demonstrated more favorable cardiorespiratory parameters: lower resting heart rate, higher vital lung capacity, longer phases of respiration, and better control of respiratory muscles. These findings indicate improved adaptation to physical loads, more economical cardiovascular function, and greater reserves of pulmonary ventilation. At the same time, variability in individual indicators was observed, highlighting the importance of personalized training approaches. The results confirm the significance of respiratory system functional capacities for sports performance and recovery in female volleyball players. The practical value of the study lies in applying these data to optimize training processes, prevent overtraining, and reduce injury risks. The findings contribute to a deeper understanding of female physiological adaptation mechanisms to volleyball-specific loads and have applied relevance for sports physiology and medicine.

Key words: respiratory system, sports performance, recovery, volleyball, functional reserves, physiology.

Вступ

Функціональні можливості дихальної системи є одним із ключових чинників, що визначають рівень фізичної працездатності спортсменів. Дихальна система забезпечує адекватне постачання кисню до тканин, підтримує сталість газового складу крові та створює умови для оптимальної роботи серцево-судинної та м'язової систем. У процесі занять волейболом, який характеризується поєднанням короточасних вибухових рухів (стрибки, удари, блоки) та тривалих періодів ігрової активності, дихальна система зазнає значних навантажень. Це вимагає високої здатності до швидкої адаптації вентиляції легень, ефективного газообміну та мобілізації резервів.

Особливості жіночої фізіології зумовлюють необхідність окремого вивчення резервів дихальної системи у спортсменок. Жінки мають менший об'єм легень і нижчі показники життєвої ємності легень (ЖЄЛ) порівняно з чоловіками, що може впливати на максимальну вентиляцію легень (МВЛ) та ефективність використання кисню. Крім того, гормональні коливання, пов'язані з менструальним циклом, можуть змінювати реактивність дихальної системи та впливати на толерантність до фізичних навантажень (Constantini et al., 2005). Це створює додаткові виклики для тренувального процесу у жінок-спортсменок.

Дослідження показують, що у спортсменів високого рівня спостерігається збільшення ЖЄЛ, зниження частоти дихання при збереженні його глибини, а також підвищення ефективності газообміну (McArdle et al., 2015). У жінок-волейболісток ці адаптаційні механізми проявляються специфічно: поєднання аеробних і анаеробних навантажень вимагає від дихальної системи високої динамічності та здатності швидко переключатися між різними режимами роботи.

Важливим аспектом є те, що у жінок репродуктивного віку функціональні можливості дихальної системи мають особливе значення. Сучасні дослідження свідчать, що статеві та гормональні відмінності впливають на легеневу вентиляцію та газообмін (Dominelli et al., 2019). Зокрема, менструальний цикл може змінювати показники функції легень і толерантність до навантажень (Janse de Jonge, 2003), а у спортсменок спостерігається специфічна адаптація дихальних м'язів та підвищення ефективності використання кисню (Dominelli et al., 2019). Крім того, у цей період життя поєднуються високі спортивні навантаження з фізіологічними змінами, що мають значення для довготривалого здоров'я та профілактики патологій.

Загалом актуальність дослідження підтверджується кількома аспектами: дихальна система є центральною ланкою у забез-

печенні енергетичних потреб організму, її резерви визначають здатність спортсменок витримувати інтенсивні навантаження та швидко відновлюватися після них; існує обмежена кількість робіт, присвячених саме жінкам-волейболісткам, тоді як більшість досліджень орієнтовані на чоловіків або спортсменів інших видів спорту (Романюк і Деркач, 2017); результати можуть бути використані для розробки індивідуальних програм тренувань, що враховують функціональні можливості дихальної системи, а також для профілактики перевтоми та зниження ризику травм; своєчасна оцінка резервів дихальної системи дозволяє попередити розвиток патологічних станів, пов'язаних із надмірними навантаженнями, та забезпечити збереження здоров'я спортсменок; підвищення рівня спортивних досягнень жінок сприяє розвитку жіночого спорту в Україні та інтеграції у світовий спортивний простір.

Таким чином, дослідження потенційних можливостей дихальної системи у жінок-волейболісток репродуктивного віку є актуальним як з точки зору фундаментальної науки, так і практичного застосування у спортивній фізіології та медицині. Воно дозволить глибше зрозуміти механізми адаптації жіночого організму до специфічних навантажень і сприятиме підвищенню ефективності тренувального процесу, постанавантажувального відновлення та підвищення спортивної працездатності.

Мета дослідження: визначити та оцінити потенційні можливості дихальної системи у жінок-спортсменок, які займаються волейболом, щодо виявлення особливостей її функціонування та резервів адаптації до специфічних фізичних навантажень. Завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасні наукові дані щодо функціональних можливостей дихальної системи у жінок-спортсменок та їхнього значення для спортивної діяльності.

2. Визначити та дослідити основні показники функціонального стану дихальної системи (ЖЄЛ, ФЖЄЛ, ОФВ1, МВЛ, нМВЛ, частота та глибина дихання) та розрахункові параметри киснево-транспортної системи (відхилення ЖЄЛ, вентиляційний індекс, коефіцієнт Гаріссона, індекс Скібінського).

3. Оцінити резервні можливості та адаптаційні реакції дихальної системи у жінок-волейболісток різного рівня спортивної майстерності залежно від інтенсивності та тривалості навантажень.

4. Сформулювати практичні рекомендації щодо оптимізації тренувального процесу з урахуванням функціональних можливостей та резервів дихальної системи.

Матеріал і методи

Дослідження проводилося на базі Житомирського державного університету імені Івана Франка та було спрямоване на оцінку функціональних можливостей респіраторної системи у жінок-спортсменок, які спеціалізуються у волейболі. Загальна кількість учасниць становила 10 осіб. Формування вибірки здійснювалося з урахуванням спортивного стажу, що дозволило виділити дві групи для порівняльного аналізу.

Перша група (I) включала п'ять спортсменок, які входять до групи підвищення спортивної майстерності, зі стажем занять волейболом до 6 років. Друга група (II) була сформована зі спортсменок волейбольного клубу «Полісся-ЖДУ», спортивний стаж яких становив від 7 до 10 років. Такий поділ дав можливість простежити вплив тривалості систематичних занять на показники респіраторної системи. Базові антропометричні характеристики досліджуваних наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Базові дані та основні антропометричні показники досліджуваних спортсменок

Досліджувані	Вік, р.	Рік початку тренувань	Маса тіла, кг	Зріст, см
1 (I)	19	2014	64	171
2 (I)	20	2013	58	161
3 (I)	19	2013	61	180
4 (I)	19	2013	52	162
5 (I)	19	2013	65	166
6 (II)	18	2012	70	170
7 (II)	18	2011	65	181
8 (II)	20	2009	70	180
9 (II)	19	2012	77	186
10 (II)	21	2009	79	183

Для коректності порівняння показників респіраторної системи враховувався вік спортсменок. Відповідно до схеми вікової періодизації Поліщук В. (Поліщук, 2017), усі учасниці належали до сьомої вікової групи – юнацький вік (17–21 рік для юнаків, 16–20 років для дівчат). Критеріями такої періодизації є комплекс морфофункціональних ознак: розміри тіла та органів, маса, ступінь окостеніння скелета, розвиток залоз внутрішньої секреції, рівень статевого дозрівання та показники м'язової сили. Це

забезпечує адекватність зіставлення отриманих результатів у межах однорідної вікової категорії.

Для визначення тотальних розмірів тіла застосовувалася соматометрія: зріст (см) вимірювався за допомогою ростоміра SECA 213 Portable Stadiometer (Німеччина); маса тіла (кг) визначалася за допомогою електронних ваг Tanita BC-418 Segmental Body Composition Analyzer (Японія).

Для оцінки функціонального стану серцево-судинної та респіраторної системи спортсменок застосовували комплекс інструментальних методів, сертифікованих для клінічних та наукових досліджень.

Артеріальний тиск визначався непрямим аускультативним методом Н.С. Короткова, який і сьогодні вважається «золотим стандартом» у клінічній практиці (Campbell et al., 2023). Для вимірювань використовували механічний тонометр Riestel Diplomat Presameter (Німеччина) та фонендоскоп Littmann Classic III (США). Фіксувалися показники: АТс – систолічний артеріальний тиск; АТд – діастолічний; АТп – пульсовий; АТср – середній артеріальний тиск, який розраховували за стандартною формулою:

$$\text{АТср} = \text{АТд} + 1/3 * (\text{АТс} - \text{АТд}).$$

Цей підхід дозволяє оцінити навантаження на серцево-судинну систему під час фізичної активності та відновлення.

Функціональний стан респіраторної системи визначався за допомогою сертифікованого спірометра MIR Spirobank II Smart (Італія), який відповідає міжнародним стандартам та використовується у клінічних і наукових дослідженнях (Thomsen et al., 2025; Quanjer et al., 1993). Фіксувалися показники:

- Частоту дихання (ЧД) – кількість дихальних циклів за хвилину, що є базовим показником ефективності зовнішнього дихання. Для безперервного моніторингу застосовувався пульсоксиметр Nonin RespSense (США), який забезпечує точність реєстрації частоти дихання та сатурації киснем (Drummond et al., 2020);

- ЖЄЛ (життєва ємність легень) – максимальний об'єм повітря після глибокого вдиху;

- МВА (максимальна вентиляція легень) – визначається шляхом максимально глибокого та частого дихання протягом 15 секунд із перерахунком на хвилину, що характеризує резервні можливості вентиляції.

- нМВА (належна величина максимальної вентиляції легень) – розраховується

за формулами з урахуванням статі, віку, зросту та маси тіла (Quanjer et al., 1993).

Для комплексної оцінки функціональних резервів респіраторної системи використовувалися інтегральні індекси:

- Відхилення ЖЄЛ (%) – різниця між фактичною та належною величиною ЖЄЛ.

- Вентиляційний індекс (ВІ) – співвідношення ЖЄЛ (л) до маси тіла (кг), що характеризує ефективність вентиляції.

- Індекс гіпоксії (ІГ) – інтегральний показник, що характеризує здатність організму переносити дефіцит кисню та відображає рівень адаптації респіраторної та серцево-судинної систем до фізичних навантажень. Він розраховується на основі співвідношення життєвої ємності легень (ЖЄЛ) та тривалості затримки дихання

- Індекс Скібінського (ІС) – добуток ЖЄЛ (л) на час затримки дихання на вдиху (с), який є інтегральним показником функціональних резервів організму та широко використовується у спортивній фізіології (Futorny et al., 2020).

Обробка даних здійснювалася із застосуванням програмного забезпечення SPSS Statistics v.25 (IBM, США). Використовувалися методи варіаційної статистики, середні значення (M), стандартне відхилення (SD), коефіцієнт варіації (Cv), а також t-критерій Ст'юдента для оцінки достовірності різниць між групами (($p < 0,05$)).

Результати

Відомо, що показники стану дихальної системи організму спортсменів знаходяться в залежності від ряду показників, одними з яких є вік спортсмена та рівень тренуваності його організму (Романчук і Гузій, 2020; Микитчик та ін., 2024). Наші дослідження проводились в групах середній вік респондентів в яких складав 19,2 р (середній вік у двох групах практично однаковий). При порівнянні антропометричних показників представниць жіночого волейбольного клубу «Полісся-ЖДУ» групи один (І) та два (ІІ), було встановлено, що середні показники маси (72,2 кг) та довжини тіла (180 см) були вищими у спортсменок другої групи порівняно з першою (60 кг та 168 см) відповідно (рис. 1).

Аналіз отриманих даних засвідчив наявність відмінностей у кардіореспіраторних показниках між двома досліджуваними групами спортсменок (Рис. 2).

У спортсменок групи ІІ середня частота серцевих скорочень (73,2 уд/хв) була нижчою порівняно з групою І (84,6 уд/хв). Це

свідчить про більш економну роботу серця та вищий рівень тренуваності серцево-судинної системи, що узгоджується з даними літератури про зниження ЧСС у спортсменів із високим рівнем фізичної підготовки (Романчук і Гузій, 2020).

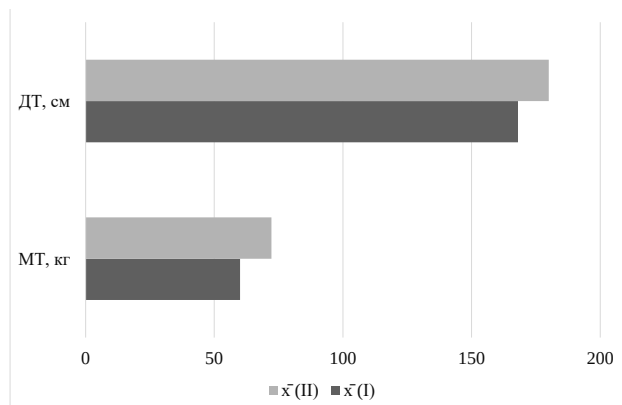


Рис. 1. Порівняння антропометричних середніх значень показників спортсменок груп (I) та (II)

Показники артеріального тиску в обох групах фіксувались в межах фізіологічної норми. Середні показники АТс становлять – 112 мм рт. ст. у групі I та 113,8 мм рт. ст. у групі II, АТд – відповідно 66,6 та 68 мм рт. ст. Пульсовий тиск також не мав суттєвих відмінностей (45,4 проти 45,8 мм рт. ст.). Це свідчить про стабільність гемодинаміки та відсутність ознак перевантаження серцево-судинної системи під час дослідження.

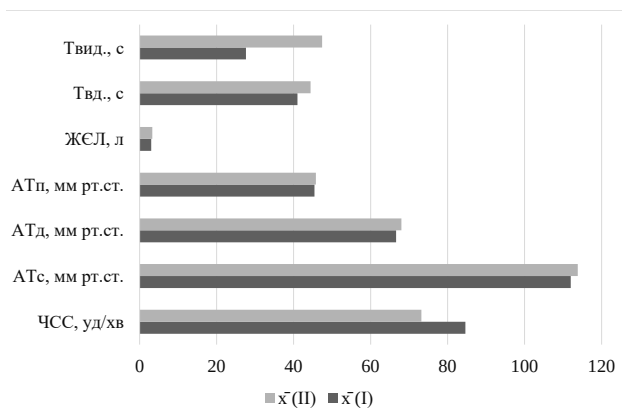


Рис. 2. Порівняння середніх значень основних кардіореспіраторних показників (ЧСС, АТс, АТд, АТп, ЖЄЛ, Т-вдих, Т-видих)

Важливим показником функціонального стану респіраторної системи є життєва ємність легень (ЖЄЛ). У спортсменок групи II середнє значення ЖЄЛ становило 3,68 л, що перевищувало показники групи

I (3,28 л). Такі відмінності можна пояснити як прояв більш високих резервів вентиляційної функції легень та кращої адаптації до фізичних навантажень у представниць II групи.

Проаналізувавши тривалість дихальних фаз досліджуваних жінок встановили: у групі II тривалість вдиху становила 44,4 с, а видиху – 47,4 с, тоді як у групі I відповідні показники були нижчими (41 с та 27,6 с відповідно). Значно довший час видиху у спортсменок групи II свідчить про кращу контрольованість дихання, ефективнішу роботу дихальних м'язів та більшу витривалість респіраторної системи.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що спортсменки групи II характеризуються більш сприятливими показниками кардіореспіраторної системи, що може бути пов'язано з тривалишим стажом тренувань та вищим рівнем спортивної майстерності. Виявлені відмінності мають практичне значення для оцінки функціональних резервів організму та оптимізації тренувального процесу у жінок-волейболісток.

Пульсовий артеріальний тиск (АТп), є важливим показником стану серцево-судинної системи, оскільки відображає амплітуду пульсової хвилі та еластичність артеріальних судин.

У спортсменок групи I середнє значення АТп становило 45,4 мм рт. ст., із коливаннями від 40 до 52 мм рт. ст. Найнижчі показники зафіксовано у двох досліджуваних (40 мм рт. ст.), тоді як найвищий рівень (52 мм рт. ст.) спостерігався у спортсменки з більшою масою тіла та вищим систолічним тиском. Загалом показники групи I були відносно однорідними, що свідчить про стабільність гемодинаміки та достатню еластичність судин.

У спортсменок групи II середнє значення АТп склало 45,8 мм рт. ст., проте діапазон коливань був ширшим – від 39 до 58 мм рт. ст. Найнижчий показник (39 мм рт. ст.) може свідчити про знижену амплітуду пульсової хвилі, тоді як найвищий (58 мм рт. ст.) відображає більш значне навантаження на серцево-судинну систему. Така варіативність результатів у групі II може бути пов'язана з індивідуальними відмінностями у рівні тренуваності, стажі занять та особливостях судинного тону.

Узагальнюючи, слід зазначити, що середні значення АТп у двох групах практично не відрізнялися та перебували в межах фізіоло-

гічної норми (40–50 мм рт. ст.), що підтверджує відсутність патологічних змін у серцево-судинній системі спортсменок. Водночас більший розкид індивідуальних показників у групі II свідчить про неоднорідність адаптаційних реакцій, що має значення для індивідуалізації тренувальних програм та контролю функціонального стану спортсменок (Рис. 3).

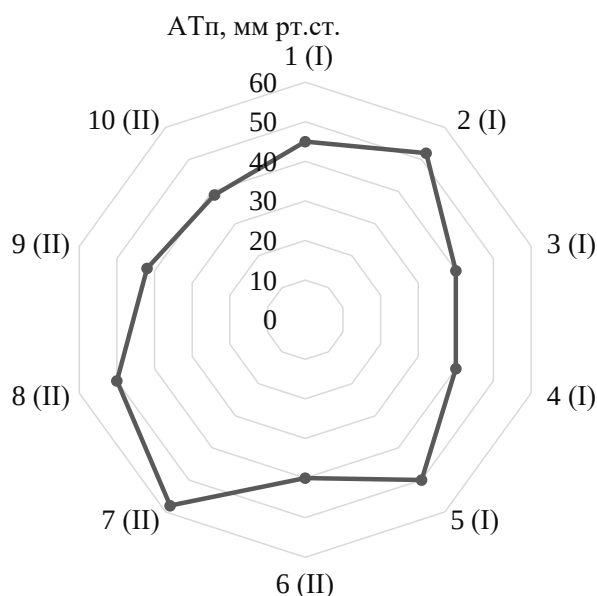


Рис. 3. Показники АТп у досліджуваних групах спортсменок

Середній артеріальний тиск (АТср) є інтегральним показником, що відображає рівень навантаження на серцево-судинну систему та використовується для оцінки стану гемодинаміки під час фізіологічних досліджень.

У спортсменок групи I середнє значення АТср становить 81,6 мм рт. ст., тоді як у спортсменок групи II цей показник був дещо вищим – 83,1 мм рт. ст. Різниця між групами є незначною і перебуває в межах фізіологічної варіативності, що свідчить про відсутність суттєвих відмінностей у рівні системного артеріального тиску.

Аналіз індивідуальних даних показав, що у групі I спостерігалися більш виражені коливання середнього артеріального тиску – від 63,2 до 90,2 мм рт. ст., тоді як у групі II діапазон був вузьким (78,1– 90,9 мм рт. ст.). Це може свідчити про більш однорідний рівень адаптації серцево-судинної системи у спортсменок другої групи, що ймовірно пов'язано з тривалішим стажем тренувань та вищим рівнем спортивної майстерності.

Загалом отримані результати підтверджують, що АТср у обох групах перебуває

в межах фізіологічної норми, без ознак перевантаження серцево-судинної системи. Водночас більша варіативність показників у групі I може вказувати на індивідуальні відмінності у рівні тренуваності та адаптаційних можливостях. Це має практичне значення для індивідуалізації тренувальних програм та контролю функціонального стану спортсменок (Рис. 4).

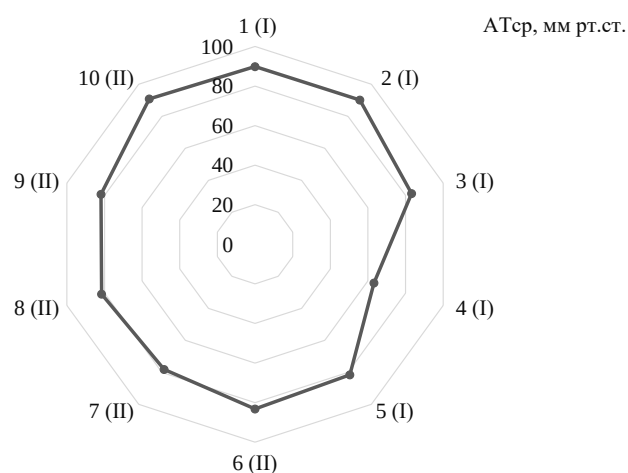


Рис. 4. Показники АТср у досліджуваних групах спортсменок

Результати дослідження функції зовнішнього дихання у спортсменок, які характеризуються різним рівнем тренуваності організму, демонструють, що фізичні вправи можуть чинити цілеспрямований вплив на окремі показники зовнішнього дихання. Зокрема, життєва ємність легень (ЖЄЛ) є одним із ключових показників функціонального стану респіраторної системи, що відображає резервні можливості зовнішнього дихання та рівень адаптації організму до фізичних навантажень.

У спортсменок групи I середнє значення ЖЄЛ становить 3,28 л, тоді як у спортсменок групи II цей показник був вищим — 3,68 л. Отримані результати свідчать про те, що у представниць групи II, які мають більший стаж тренувань та вищий рівень спортивної майстерності, спостерігається більш розвинена вентиляційна функція легень. Це узгоджується з даними літератури, де підкреслюється, що регулярні фізичні навантаження сприяють збільшенню життєвої ємності легень за рахунок посилення сили дихальних м'язів та підвищення еластичності легеневої тканини (Корнійчук та ін., 2024).

Аналіз індивідуальних показників показав, що у групі I ЖЄЛ коливалася від 2,7 до

3,8 л, тоді як у групі II діапазон був дещо вищим — від 3,0 до 3,8 л. Це свідчить про більш однорідний рівень функціональних можливостей у спортсменок II групи, тоді як у групі I спостерігається більша варіативність, що може бути пов'язано з різним рівнем тренуваності та індивідуальними особливостями організму (Рис. 5).

Важливим є також порівняння фактичних значень ЖЄЛ із належними величинами. У більшості спортсменок обох груп спостерігалася відхилення від нормативних показників у межах -16% до -28% у групі I та -18% до -19% у групі II. Це свідчить про те, що навіть у більш тренуваних спортсменок показники ЖЄЛ залишаються нижчими за належні, що може бути пов'язано з індивідуальними анатомо-фізіологічними особливостями жіночого організму та специфікою волейболу як виду спорту, де переважають інтервальні навантаження з високою інтенсивністю (Рис. 5).

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що регулярні тренування у волейболі сприяють підвищенню життєвої ємності легень, проте рівень цього показника значною мірою залежить від стажу занять та рівня спортивної майстерності. Виявлені відмінності між групами мають практичне значення для оцінки функціональних резервів респіраторної системи та оптимізації тренувального процесу у жінок-спортсменок.

Оскільки відомо, що ЖЄЛ є одним із ключових показників, який характеризує функціональні резерви респіраторної системи

та рівень її адаптації до фізичних навантажень, доцільним було розрахувати відхилення ЖЄЛ. На Рис.6 наведено діаграму відхилення фактичних значень ЖЄЛ від належних у спортсменок обох груп.

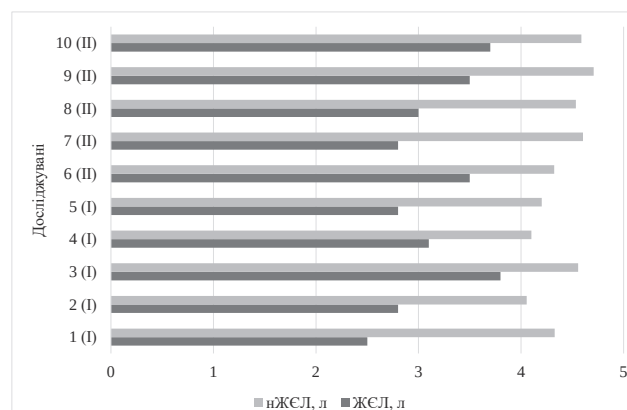


Рис. 5. Показники фактичних та належних значень ЖЄЛ спортсменок I та II групи

Аналіз показав, що у групі I відхилення від нормативних величин коливалося в межах -16% до -28% , тоді як у групі II діапазон був більш вузьким – від -18% до -19% . Це свідчить про більшу варіативність показників у спортсменок першої групи, що може бути зумовлено різним рівнем тренуваності та індивідуальними особливостями організму. У спортсменок другої групи спостерігається більш однорідний рівень функціональних можливостей, що узгоджується з їхнім тривалішим стажом занять та вищим рівнем спортивної майстерності.

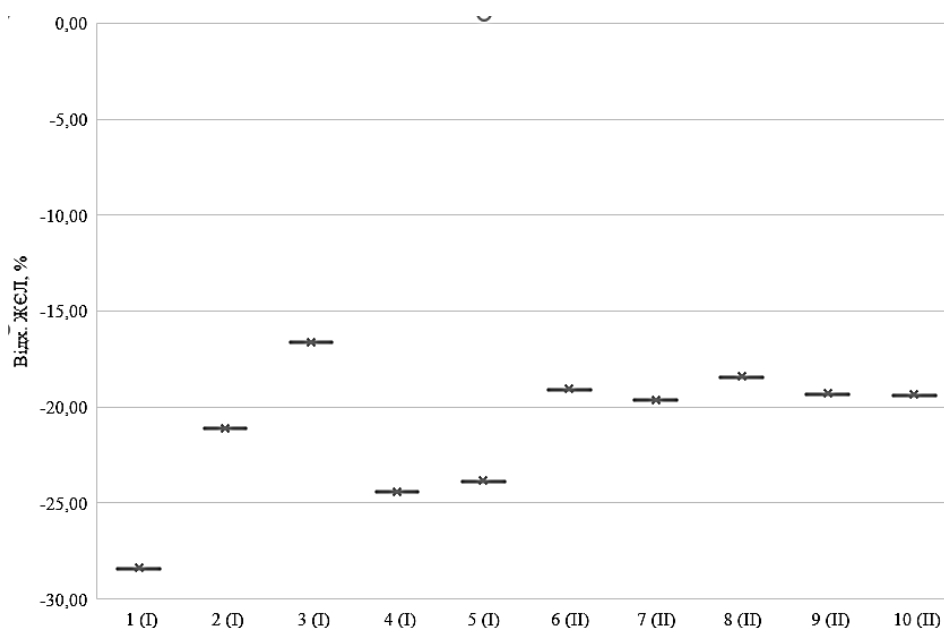


Рис. 6. Відхилення фактичних значень ЖЄЛ від належних у спортсменок I та II групи

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що регулярні тренування у волейболі сприяють розвитку вентиляційної функції легень, проте навіть у більш досвідчених спортсменок показники ЖЄЛ залишаються нижчими за належні. Це підкреслює значення індивідуальних анатомо-фізіологічних особливостей жіночого організму та специфіки волейболу як виду спорту, де переважають інтервальні навантаження з високою інтенсивністю. Виявлені відмінності мають практичне значення для оцінки функціональних резервів респіраторної системи та оптимізації тренувального процесу у жінок-спортсменок.

Максимальна вентиляція легень (МВЛ) є інтегральним показником функціонального стану респіраторної системи, що характеризує граничні можливості легеневої вентиляції при максимальному фізичному навантаженні. МВЛ використовується для оцінки резервів зовнішнього дихання у спортсменів.

Аналіз отриманих даних показав, що у спортсменок групи I середні значення належної МВЛ становили близько 110,5 л/хв, тоді як у спортсменок групи II цей показник був дещо вищим – 118,3 л/хв. Фактичні індивідуальні значення у групі I коливалися від 105,4 до 118,5 л/хв, а у групі 2 – від 112,4 до 122,4 л/хв.

Порівняння фактичних показників із належними величинами засвідчило, що у більшості спортсменок обох груп МВЛ була нижчою за прогнозовані нормативи, що відображає певний дефіцит резервних можливостей вентиляції. Водночас у групі II відхилення від належних величин було менш вираженим (у межах –18–19 %), тоді як у групі 1 воно досягало –22–28 %. Це свідчить про більш високий рівень адаптації респіраторної системи у спортсменок II групи, що узгоджується з їхнім тривалішим стажем тренувань та вищим рівнем спортивної майстерності (Рис. 7).

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що регулярні тренування у волейболі сприяють підвищенню максимальної вентиляції легень, проте фактичні показники залишаються нижчими за належні величини. Це вказує на необхідність цілеспрямованого розвитку дихальної витривалості у спортсменок, зокрема шляхом включення спеціальних вправ для тренування дихальних м'язів та оптимізації навантажень у тренувальному процесі.

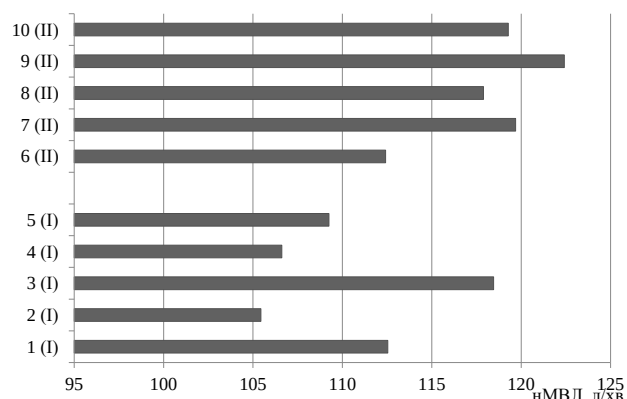


Рис. 7. Показники належної максимальної вентиляції легень

Вентиляційний індекс (ВІ) є розрахунковим показником, що характеризує співвідношення життєвої ємності легень (ЖЄЛ) до маси тіла спортсмена. Він використовується для оцінки ефективності функціонування респіраторної системи з урахуванням антропометричних параметрів і дозволяє визначити відносні резерви зовнішнього дихання (Рис. 8).

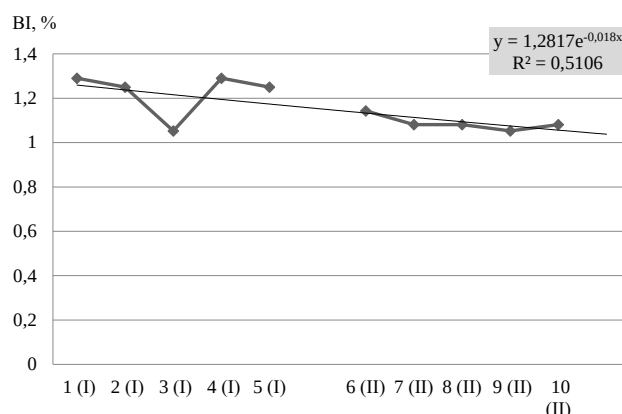


Рис. 8. Показники вентиляційного індексу (ВІ)

У спортсменок групи I середнє значення ВІ становило 1,23 %, тоді як у спортсменок групи II цей показник був дещо нижчим – 1,09 %. Отримані результати свідчать про те, що у представниць першої групи, які мають меншу масу тіла, відносна ефективність вентиляційної функції легень є вищою. Водночас у групі II, де маса тіла спортсменок була більшою, абсолютні показники ЖЄЛ перевищували значення групи I, проте відносний індекс виявився нижчим.

Аналіз індивідуальних даних показав, що у групі I ВІ коливався від 1,05 до 1,29 %, у групі II – від 1,02 до 1,28 %.

тоді як у групі 2 – від 1,05 до 1,14 %. Це свідчить про більш однорідний рівень показників у другій групі та більшу варіативність у першій.

Отже, результати дослідження підтверджують, що вентиляційний індекс є інформативним показником для оцінки функціональних можливостей респіраторної системи у спортсменок. Вищі значення ВІ у групі I пояснюються меншою масою тіла при відносно високих показниках ЖЄЛ, тоді як у групі II нижчий індекс відображає більшу масу тіла при вищих абсолютних значеннях життєвої ємності легень. Це підкреслює необхідність комплексної оцінки як абсолютних, так і відносних показників функції зовнішнього дихання у спортивній практиці.

Індекс Скібінського (ІС) є інтегральним показником функціональних резервів респіраторної системи, який визначається як добуток життєвої ємності легень (ЖЄЛ) на час затримки дихання на вдиху. Він широко використовується у спортивній фізіології для оцінки адаптаційних можливостей організму та рівня тренуваності спортсменів (Рис. 9).

У спортсменок групи I середнє значення ІС становило 1,07 у.о., тоді як у спортсменок групи II цей показник був майже удвічі вищим – 2,38 у.о. Така різниця свідчить про більш високі функціональні резерви дихальної системи у представниць другої групи, що може бути пов'язано з тривалішим стажем тренувань та вищим рівнем спортивної майстерності.

Аналіз індивідуальних даних показав, що у групі I ІС коливався від 0,77 до 1,82 у.о., тоді як у групі 2 діапазон був значно вищим – від 1,54 до 2,21 у.о. Це свідчить про більш однорідний та стабільний рівень адаптаційних реакцій у спортсменок другої групи, тоді як у групі I спостерігалася більша варіативність, що може бути ознакою різного рівня тренуваності та індивідуальних особливостей функціонального стану.

Отримані результати підтверджують, що регулярні та інтенсивні тренування у волейболі сприяють підвищенню ІС, що відображає покращення резервних можливостей респіраторної системи. Вищі значення ІС у спортсменок групи II свідчать про їхню здатність ефективніше використовувати вентиляційні резерви легень та підтримувати тривалішу затримку дихання, що є важливим чинником для забезпечення високої толерантності до фізичних навантажень.

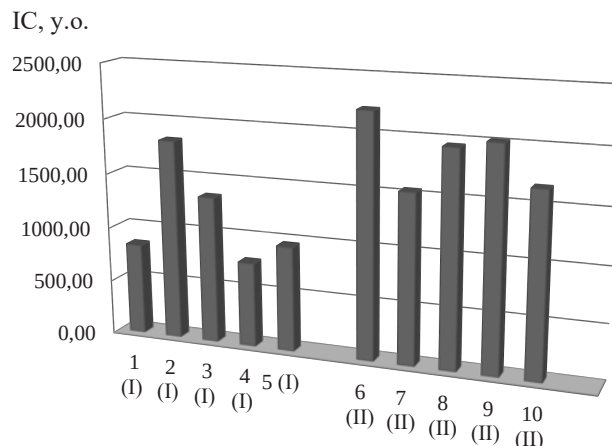


Рис. 9. Показники індексу Скібінської у досліджуваних групах спортсменок

Отже, індекс Скібінського може розглядатися як інформативний критерій оцінки рівня тренуваності та функціональних резервів дихальної системи у жінок-волейболісток. Виявлені відмінності між групами мають практичне значення для індивідуалізації тренувальних програм та контролю адаптаційних процесів у спортсменок (Рис. 10).

Індекс гіпоксії (ІГ) є інтегральним показником, та широко використовується у спортивній фізіології для оцінки толерантності до гіпоксичних станів. Аналіз отриманих даних показав, що у спортсменок групи I середнє значення ІГ становило 0,33 у.о., тоді як у спортсменок групи 2 цей показник був майже удвічі вищим – 0,65 у.о. Така різниця свідчить про більш високий рівень гіпоксичної стійкості у представниць другої групи, що може бути наслідком тривалішого стажу тренувань та систематичного впливу фізичних вправ на функціональні резерви організму (Рис. 10).

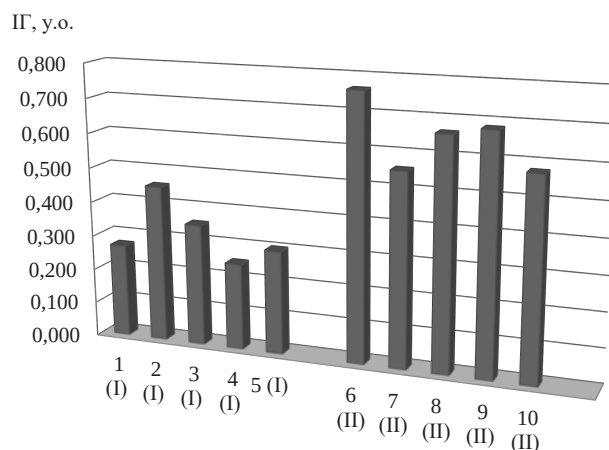


Рис. 10. Показники індексу гіпоксії

Аналіз індивідуальних даних показав, що у I групі ІГ коливався від 0,25 до 0,45 у.о., тоді як у групі 2 — від 0,55 до 0,76 у.о. Це свідчить про більш однорідний рівень показників у другій групі та значно нижчі значення у першій, що може бути пов'язано з меншою життєвою ємністю легень та коротшою тривалістю затримки дихання.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що індекс гіпоксії є інформативним критерієм оцінки адаптаційних можливостей спортсменок до гіпоксичних умов. Вищі значення ІГ у групі 2 свідчать про кращу здатність їхнього організму ефективно функціонувати в умовах дефіциту кисню, що має важливе значення для забезпечення високої толерантності до інтенсивних фізичних навантажень. Виявлені відмінності між групами підкреслюють роль систематичних тренувань у формуванні гіпоксичної стійкості та можуть бути використані для індивідуалізації тренувальних програм у волейболі.

Обговорення

Отримані результати дослідження кардіореспіраторних показників спортсменок-волейболісток із різним рівнем тренуваності підтверджують наявність суттєвих відмінностей у функціональних можливостях серцево-судинної та дихальної систем. Зокрема, нижчі значення частоти серцевих скорочень, вищі показники життєвої ємності легень, індексу Скібінського та індексу гіпоксії у спортсменок другої групи свідчать про більш високий рівень адаптації до фізичних навантажень.

Наші дані узгоджуються з результатами дослідження турецьких дослідників (Kavuran et al., 2025), які показали, що рівень кардіореспіраторної підготовленості у волейболістів прямо корелює з показниками $VO_2\max$ та нижчою частотою серцевих скорочень у стані спокою а також з гормональним профілем спортсменок. Подібні висновки наведені й у роботі румунських дослідників (Martin et al., 2026), де підкреслюється, що повторні стрибкові навантаження у волейболі формують специфічні механічні та кардіореспіраторні адаптації, які проявляються у більш економній роботі серця та стабільності гемодинаміки.

Щодо показників функції зовнішнього дихання, наші результати (вищі значення ЖЄЛ та ФЖЄЛ у більш тренуваних спортсменок) співзвучні з даними стандартизованих показників легеневої функції у спортсменів (Kavuran et al., 2025; Thomsen et al.,

2025), які свідчать, що регулярні інтенсивні тренування сприяють збільшенню життєвої ємності легень та покращенню резервів вентиляції у професійних атлетів порівняно з нетренованими особами, а стандартизовані показники легеневої функції у спортсменів значно перевищують середньопопуляційні значення.

Важливим є також підтвердження інформативності інтегральних індексів. Наші дані щодо індексу Скібінського та індексу гіпоксії узгоджуються з висновками Куцериб Т. та співавторів (Куцериб та ін., 2016), які показали, що ці індекси є чутливими критеріями оцінки морфофункціонального стану та рівня фізичної підготовленості спортсменів. Крім того, результати досліджень, які проводились у Франції, зокрема в лабораторії Laboratoire Européen Performance Santé Altitude (LEPSA) при Університеті Перпіньяна Via Domitia (Durand & Raberin, 2021) підтверджують, що тренувані спортсмени мають вищу толерантність до гіпоксії та здатність підтримувати ефективну вентиляцію навіть в умовах інтенсивних навантажень.

Щодо індексу Гаріссона, наші результати (вищі значення у більш тренуваних спортсменок) співпадають із даними сербських дослідників (Durmic et al., 2017), які довели, що тип тренувань та рівень спортивної майстерності суттєво впливають на показники вентиляційної функції та співвідношення ЖЄЛ до антропометричних параметрів.

Таким чином, отримані результати підтверджують дані сучасних наукових публікацій і демонструють, що регулярні тренування у волейболі сприяють розвитку кардіореспіраторних резервів, підвищенню життєвої ємності легень та формуванню стійкості до гіпоксичних станів. Це має практичне значення для оптимізації тренувального процесу та індивідуалізації навантажень у спортсменок.

Результати дослідження функції зовнішнього дихання у жінок-волейболісток із різним рівнем спортивної майстерності засвідчили, що інтенсивність та тривалість тренувальних навантажень мають безпосередній вплив на резервні можливості респіраторної системи.

У спортсменок із нижчим рівнем майстерності спостерігалися відносно менші показники життєвої ємності легень (ЖЄЛ), форсованої життєвої ємності (ФЖЄЛ) та індексу Скібінського. Це свідчить про обмежені резерви вентиляційної функції та нижчу толерантність до гіпоксичних станів.

Водночас у більш тренованих спортсменок показники ЖЄЛ та ФЖЄЛ були вищими, а індекс гіпоксії та вентиляційний індекс демонстрували більш ефективне співвідношення між об'ємом легень та антропометричними параметрами. Це підтверджує, що систематичні та тривалі тренування сприяють розвитку адаптаційних реакцій дихальної системи, зокрема підвищенню еластичності легеневої тканини та витривалості дихальних м'язів.

Важливим є те, що у спортсменок із високим рівнем майстерності спостерігалася більша тривалість видиху та затримки дихання, що свідчить про кращу контрольованість дихальних процесів і більш високий рівень гіпоксичної стійкості. Це узгоджується з даними сучасних досліджень, де підкреслюється, що регулярні інтенсивні навантаження формують специфічні адаптації респіраторної системи, які проявляються у збільшенні резервів вентиляції та підвищенні толерантності до кисневого дефіциту (Durand & Raberin, 2021).

Таким чином, можна стверджувати, що резервні можливості та адаптаційні реакції дихальної системи у жінок-волейболісток прямо залежать від рівня спортивної майстерності, який визначається інтенсивністю та тривалістю тренувальних навантажень. Вищий рівень тренованості забезпечує більш ефективну роботу респіраторної системи, що має практичне значення для оптимізації тренувального процесу та індивідуалізації навантажень у спортивній підготовці.

Практичні рекомендації. З урахуванням отриманих результатів дослідження функціональних можливостей та резервів дихальної системи у жінок-волейболісток різного рівня спортивної майстерності можна сформулювати низку практичних рекомендацій щодо оптимізації тренувального процесу.

Насамперед слід враховувати індивідуальний рівень тренованості спортсменок при плануванні навантажень. Для менш досвідчених волейболісток доцільно поступово збільшувати обсяг аеробних вправ, що сприятиме розвитку життєвої ємності легень та підвищенню інтегральних показників, таких як індекс Скібінського. У більш тренованих спортсменок акцент варто робити на підтриманні високого рівня функціональних резервів шляхом варіювання інтенсивності та тривалості занять.

Важливим напрямом є розвиток дихальної витривалості. До тренувального процесу рекомендується включати спеціальні вправи

для зміцнення дихальних м'язів та вправи з контрольованою затримкою дихання, які підвищують гіпоксичну стійкість організму. Особливу увагу слід приділяти тривалості видиху, адже його подовження сприяє ефективнішій роботі респіраторної системи та формуванню адаптаційних реакцій до інтенсивних навантажень.

Регулярне застосування циклічних вправ (біг, плавання, робота на велотренажері) у помірному та високому темпі дозволяє розширити резерви вентиляційної функції легень. При цьому необхідно здійснювати систематичний контроль показників максимальної вентиляції легень та співвідносити їх із належними величинами для оцінки прогресу.

Не менш важливим є постійний моніторинг функціональних показників дихальної системи. Проведення регулярних тестувань (ЖЄЛ, індекс Скібінського, індекс Гаріссона, індекс гіпоксії) дає змогу своєчасно коригувати тренувальні програми та запобігати перевантаженню респіраторної системи.

З метою підвищення толерантності до кисневого дефіциту доцільно застосовувати гіпоксичні тренування, які включають вправи з контрольованою затримкою дихання та дихання через обмежений опір. Виконання таких вправ має бути поступовим і здійснюватися під контролем тренера та лікаря, щоб уникнути надмірного навантаження.

Вивчення потенційних можливостей дихальної системи у жінок-спортсменок має принципове значення для розвитку сучасної теорії та практики фізичної культури і спорту, оскільки забезпечує наукове підґрунтя для обґрунтованого управління тренувальним процесом і відновленням. Отримані дані дозволяють фахівцям у сфері фізичної культури і спорту, тренерам, спортивним лікарям та фахівцям з фізичної терапії об'єктивно оцінювати функціональний стан спортсменок, своєчасно виявляти обмежувальні ланки адаптації та коригувати навантаження з урахуванням індивідуальних і статевих особливостей. Це сприяє підвищенню спортивної працездатності, оптимізації відновлювальних заходів, профілактиці перевтоми та збереженню довготривалого здоров'я спортсменок, що є одним із ключових завдань сучасної системи підготовки у жіночому спорті (Павлова і Виноградський, 2011).

Таким чином, оптимізація тренувального процесу у жінок-волейболісток повинна

базуватися на комплексному підході, що поєднує розвиток кардіореспіраторних резервів із силовою та техніко-тактичною підготовкою. Врахування антропометричних особливостей спортсменок при оцінці індексу Гаріссона та вентиляційного індексу дозволяє індивідуалізувати навантаження та забезпечити гармонійний розвиток організму.

Висновки

Проведене дослідження функції зовнішнього дихання у жінок-волейболісток різного рівня спортивної майстерності засвідчило наявність суттєвих відмінностей у показниках життєвої ємності легень (ЖЄЛ). У більш тренованих спортсменок середні значення ЖЄЛ були вищими та характеризувалися меншою варіативністю, що свідчить про більш однорідний рівень функціональних резервів респіраторної системи. Водночас у представниць обох груп фактичні показники ЖЄЛ залишалися нижчими за належні величини, що може бути зумовлено індивідуальними анатомо-фізіологічними особливостями жіночого організму та специфікою волейболу як виду спорту. Виявлені відмінності підтверджують взаємозв'язок між стажем тренувань, рівнем спортивної майстерності та функціональними можливостями системи зовнішнього дихання.

Інтегральні індекси (індекс Скібінського, індекс гіпоксії, вентиляційний індекс) під-

твердили більш високий рівень адаптаційних реакцій у спортсменок із вищим рівнем майстерності. Це проявлялося у кращій гіпоксичній стійкості, ефективнішому співвідношенні об'єму легень до антропометричних параметрів та більшій стабільності показників у групі високої тренуваності.

Порівняння фактичних значень із належними величинами показало, що навіть у більш тренованих спортсменок показники МВА та ЖЄЛ залишаються нижчими за нормативні, що свідчить про наявність резервів для подальшого розвитку дихальної витривалості.

Виявлені відмінності між групами підтверджують, що інтенсивність і тривалість тренувальних навантажень є ключовими чинниками формування функціональних можливостей респіраторної системи. Регулярні та систематичні тренування сприяють підвищенню життєвої ємності легень, розвитку гіпоксичної стійкості та оптимізації вентиляційних резервів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання показників функції зовнішнього дихання та інтегральних індексів як критеріїв контролю тренувального процесу. Це дозволяє індивідуалізувати навантаження, своєчасно коригувати програми та підвищувати ефективність спортивної підготовки жінок-волейболісток.

Список використаної літератури

Корнійчук Н. М., Саранча М. П., Бовсуновський Ю. М. Оцінка функцій дихальної системи спортсменів волейболістів. *Вектори розвитку науки, освіти і суспільства в умовах глобалізації* : збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Ізмаїл, 28 травня 2024 р.). Ізмаїл, 2024. С. 74-76. [Електронний ресурс]. URL: <https://eprints.zu.edu.ua/id/eprint/40035> (дата звернення 01.03.2026).

Кущеріт Т., Вовканіч Л., Гриньків М., Маєвська С., Музика Ф. Адаптаційні зміни морфологічних показників організму спортсменів з різною спрямованістю тренувального процесу. *Молода спортивна наука України* : збірник наукових праць з галузі фізичного виховання і спорту / за заг. ред. Є. Приступи. Львів, 2016. Вип. 20, т. 3-4. С. 36-42. [Електронний ресурс]. URL: <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/18487> (дата звернення 01.03.2026).

Микитчик О. С., Афанасьєв С. М., Москаленко Н. В., Омельченко О. С., Сергєєв А. Ю. Рівень функціонального стану серцево-судинної та дихальної системи спортсменів, які займаються тріатлоном. *Науковий часопис Українського державного університету імені М. Драгоманова. Серія 15: Фізична культура і спорт*. 2024. Вип. 1 (173). С. 150-160. [https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.1\(173\).21](https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.1(173).21)

Павлова Ю., Виноградський Б. Відновлення у спорті: монографія. Львів: ЛДУФК, 2011. 204 с. [Електронний ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/286922140_Recovery_in_sport_Vidnovlenna_u_sportu (дата звернення 01.03.2026).

Поліщук В. М. Вікова періодизація та вікова класифікація. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Психологічні науки»*. 2017. Т. 2, № 1. С. 103-108. [Електронний ресурс]. URL: <https://pj.journal.kspu.edu/index.php/pj/article/view/263> (дата звернення 01.03.2026).

Романюк В., Деркач Ю. Комплексне оцінювання функціональних можливостей системи дихання волейболісток. *Фізичне виховання, спорт і культура здоров'я у сучасному суспільстві* :

зб. наук. пр. / Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки. Луцьк, 2008. Т. 3. С. 321-325. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.academia.edu/144718847/> (дата звернення 01.03.2026).

Романчук О. П., Гузій О. В. Сучасні підходи до об'єктивізації функціонального стану спортсменів при поточних обстеженнях. *Фізична реабілітація та рекреаційно-оздоровчі технології*. 2020. № 5(1). С. 8-15. [https://doi.org/10.15391/prrht.2020-5\(1\).02](https://doi.org/10.15391/prrht.2020-5(1).02)

Campbell M., Sultan A., Shumway K. R., Pillarisetty L. S. Physiology, Korotkoff sound. *StatPearls [Internet]*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539778/> (дата звернення 01.03.2026).

Constantini N. W., Dubnov G., Lebrun C. M. The menstrual cycle and sport performance. *Clin Sports Med*. 2005. Vol. 24(2). P. e51–e82. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2005.01.003>

Dominelli P. B., Molgat-Seon Y., Sheel W. M. Sex differences in the pulmonary system affect the integrative response to exercise. *Journal of Exercise Science*. 2019. No. 28(3). P. 188. <https://doi.org/10.1249/JES.00000000000000188>

Drummond G. B., Fischer D., Arvind D. K. Current clinical methods of measurement of respiratory rate give imprecise values. *ERJ Open Research*. 2020. Vol. 6(3). Article 00023-2020. <https://doi.org/10.1183/23120541.00023-2020>

Durand F., Raberin A. Exercise-induced hypoxemia in endurance athletes: consequences of altitude exposure. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2021. Vol. 3. Article 663674. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.663674>

Durmic T., Lazovic Popovic B., Zlatkovic Svenda M., Djelic M., Zugic V., Gavrilovic T., Mihailovic Z., Zdravkovic M., Leischik R. The training type influence on male elite athletes' ventilatory function. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*. 2017. Vol. 3. Article e000240. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2017-000240>

Futorny S., Maslova O., Shmatova O., Osadcha O., Rychok T., Hopey M., Tarnavskiy A. Modern aspects of the ecological culture implementation in the physical education process of different population groups. *Journal of Physical Education and Sport*. 2020. Vol. 20. P. 348-353. [Електронний ресурс]. URL: <https://reposit.uni-sport.edu.ua/items/7f45f7d5-64fc-412c-b9d0-a53bef7b38a9> (дата звернення 01.03.2026).

Janse de Jonge X. A. Effects of the menstrual cycle on exercise performance. *Sports Medicine*. 2003. Vol. 33, issue 11. P. 833-851. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333110-00004>

Kavuran K., Tizar E., Oral D. O., Erdoğan R., Çelikel B. E., Ceylan T. C., Sezer S. Y., Karataş B. B. The effects of different exercise loads in plyometric resistance training on respiratory and hormonal levels in female volleyball players. *Frontiers in Physiology*. 2025. Vol. 16. Article 1589080. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1589080>

Martin S. A., Pelagh I., Gavra G. M., Sabo G., Martin-Hadmaş R. M. Integrated mechanical and cardiopulmonary adaptations during repeated jumps in volleyball players: Insights from CPET analysis. *Sports*. 2026. Vol. 14, issue 1. Article 34. <https://doi.org/10.3390/sports14010034>

McArdle W. D., Katch F. I., Katch V. L. Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance. 8th ed. Philadelphia : Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, 2015. 1028 p. [Електронний ресурс]. URL: <https://fullpdfword.com/reviews/u12829/242192/4968440-exercise-physiology-mcardle-katch> (дата звернення 01.03.2026).

Quanjer P. H., Tammeling G. J., Cotes J. E., Pedersen O. F., Peslin R., Yernault J. C. Lung volumes and forced ventilatory flows. *European Respiratory Journal*. 1993. Vol. 6 (Suppl. 16). P. 5-40. <https://doi.org/10.1183/09041950.005s1693>

Thomsen R. S., Rasmussen R. S., Madsen A. C., Iepsen U. W., Christensen R. H., Berg R. M. G. Standardised lung function metrics in healthy athletes. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*. 2025. Vol. 85(1). P. 20-27. <https://doi.org/10.1080/00365513.2025.2456947>

References

Korniichuk, N.M., Sarancha, M.P., & Bovsunovskyi, Yu.M. (2024). Otsinka funktsii dykhalnoi systemy sportmeniv voleibolistiv [Assessment of respiratory system functions in volleyball athletes]. *Vektory rozvytku nauky, osvity i suspilstva v umovakh hlobalizatsii : zb. tez dopovidei mizhnar. nauk. prakt. konf. (28 travnia 2024 r.)*. [Vectors of the development of science, education and society in the conditions of globalization: collection of abstracts of reports of the international scientific practical conference (May 28, 2024)]. Izmail, pp. 74-76. [Electronic resource] URL: <https://eprints.zu.edu.ua/id/eprint/40035> (access date 01.03.2026) [in Ukrainian].

Kutseryb, T., Vovkanych, L., Hryn'kiv, M., Maievska, S., & Muzyka, F. (2016). Adaptatsiini zminy morfolohichnykh pokaznykiv orhanizmu sportsmeniv z riznoiu spriamovanistiu trenuvalnoho protsesu [Adaptive changes in the morphological indicators of the body of athletes with different orientations of the training process]. *Moloda sportyvna nauka Ukrainy : zb. nauk. prats z haluzi fizychnoho vykhovannia i sportu* [Young sports science of Ukraine: collection of scientific works in the field of physical education and sports], 20, 36-42. [Electronic resource] URL: <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/18487> (access date 01.03.2026) [in Ukrainian].

Mykytchyk, O.S., Afanasiev, S.M., Moskalenko, N.V., Omelchenko, O. S., & Serheiev, A. Yu. (2024). Riven funktsionalnoho stanu sertsevo sudynnoi ta dykhalnoi systemy sportsmeniv, yaki zaimaiutsia triatlonom [The level of functional state of the cardiovascular and respiratory systems of athletes involved in triathlon]. *Nauk. chasopys Ukrainskoho derzh. universytetu im. M. Drahomanova. Seriya 15: Fizychna kultura i sport* [Scientific journal of the Ukrainian State University named after M. Dragomanov. Series 15: Physical Culture and Sports], 1(173), 150-160. [https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.1\(173\).21](https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.1(173).21) [in Ukrainian].

Pavlova, Yu., & Vynohrads'kyi, B. (2011). Vidnovlennia u sporti: monohrafiia [Recovery in sports: monograph]. Lviv: LDUFK. [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/publication/286922140_Recovery_in_sport_Vidnovlennia_u_sporti (access date 01.03.2026) [in Ukrainian].

Polishchuk, V.M. (2017). Vikova periodyzatsiia ta vikova klasyfikatsiia [Age periodization and age classification]. *Nauk. visnyk Khersonskoho derzh. universytetu. Ser. Psykholohichni nauky* [Scientific Bulletin of Kherson State University. Series. Psychological Sciences], 2(1), 103-108. [Electronic resource] URL: <https://pj.journal.kspu.edu/index.php/pj/article/view/263> (access date 01.03.2026) [in Ukrainian].

Romaniuk, V., & Derkach, Yu. (2008). Kompleksne otsiniuvannia funktsionalnykh mozhlyvostei systemy dykhannia voleibolistok [Comprehensive assessment of the functional capabilities of the respiratory system of volleyball players]. *Fizychnye vykhovannia, sport i kultura zdorovia u suchasnomu suspilstvi : zb. nauk. pr. / Volyn. nats. un-t im. Lesi Ukrainky* [Physical education, sports and health culture in modern society: collection of scientific works / Volyn. National University named after Lesya Ukrainka]. (vol. 3). Lutsk, pp. 321-325. [Electronic resource] URL: <https://www.academia.edu/144718847/> (access date 01.03.2026) [in Ukrainian].

Romanchuk, O. P., & Huzii, O. V. (2020). Suchasni pidkhody do obiektyvizatsii funktsionalnoho stanu sportsmeniv pry potochnykh obstezhennia [Modern approaches to the objectification of athletes' functional state during ongoing assessments]. *Fizychna rehabilitatsiia ta rekreatsino-ozdorovchi tekhnolohii* [Physical rehabilitation and recreational health technologies], 5(1), 8-15. [https://doi.org/10.15391/prrht.2020-5\(1\).02](https://doi.org/10.15391/prrht.2020-5(1).02) [in Ukrainian].

Campbell, M., Sultan, A., Shumway, K.R., & Pillarisetty, L.S. (2023). Physiology, Korotkoff sound. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. [Electronic resource] URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539778/> (access date 01.03.2026) [in English].

Constantini, N.W., Dubnov, G., & Lebrun, C.M. (2005). The menstrual cycle and sport performance. *Clinics in Sports Medicine*, 24(2), e51-e82. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2005.01.003> [in English].

Dominelli, P.B., Molgat Seon, Y., & Sheel, W.M. (2019). Sex differences in the pulmonary system affect the integrative response to exercise. *Journal of Exercise Science*, 28(3), 188. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000188> [in English].

Drummond, G.B., Fischer, D., & Arvind, D.K. (2020). Current clinical methods of measurement of respiratory rate give imprecise values. *ERJ Open Research*, 6(3), 00023. <https://doi.org/10.1183/23120541.00023-2020> [in English].

Durand, F., & Raberin, A. (2021). Exercise induced hypoxemia in endurance athletes: consequences of altitude exposure. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 663674. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.663674> [in English].

Durmic, T., Lazovic Popovic, B., Zlatkovic Svenda, M., Djelic, M., Zugic, V., Gavrilovic, T., Mihailovic, Z., Zdravkovic, M., & Leischik, R. (2017). The training type influence on male elite athletes' ventilatory function. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 3, e000240. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2017-000240> [in English].

Futorny, S., Maslova, O., Shmatova, O., Osadcha, O., Rychok, T., Hopey, M., & Tarnavskiy, A. (2020). Modern aspects of the ecological culture implementation in the physical education process of different population groups. *Journal of Physical Education and Sport*, 20, 348-353. [Electronic

resource] URL: <https://reposit.uni-sport.edu.ua/items/7f45f7d5-64fc-412c-b9d0-a53bef7b38a9> (access date 01.03.2026) [in English].

Janse de Jonge, X.A. (2003). Effects of the menstrual cycle on exercise performance. *Sports Medicine*, 33(11), 833-851. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333110-00004> [in English].

Kavuran, K., Tizar, E., Oral, D. O., Erdoğan, R., Çelikel, B. E., Ceylan, T. C., Sezer, S. Y., & Karataş, B. B. (2025). The effects of different exercise loads in plyometric resistance training on respiratory and hormonal levels in female volleyball players. *Frontiers in Physiology*, 16, 1589080. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1589080> [in English].

Martin, S. A., Pelagh, I., Gavra, G. M., Sabo, G., & Martin Hadmaş, R. M. (2026). Integrated mechanical and cardiopulmonary adaptations during repeated jumps in volleyball players: Insights from CPET analysis. *Sports*, 14(1), 34. <https://doi.org/10.3390/sports14010034> [in English].

McArdle, W.D., Katch, F.I., & Katch, V.L. (2015). Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance (8th ed.). Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins. [Electronic resource] URL: <https://fullpdfword.com/reviews/u12829/242192/4968440-exercise-physiology-mcardle-katch> (access date 01.03.2026) [in English].

Quanjer, P.H., Tammeling, G.J., Cotes, J.E., Pedersen, O.F., Peslin, R., & Yernault, J.C. (1993). Lung volumes and forced ventilatory flows. *European Respiratory Journal*, 6(16), 5-40. <https://doi.org/10.1183/09041950.005s1693> [in English].

Thomsen, R.S., Rasmussen, R.S., Madsen, A.C., Iepsen, U.W., Christensen, R.H., & Berg, R.M.G. (2025). Standardised lung function metrics in healthy athletes. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 85(1), 20-27. <https://doi.org/10.1080/00365513.2025.2456947> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 20.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 14.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 16
Український журнал природничих наук
№ 16

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 632:631:582.93
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.2>

ФОРМУВАННЯ ФІТОПАТОГЕННОГО ФОНУ В АГРОЦЕНОЗАХ ТОМАТА (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L.) ЗА ДІЇ СТИМУЛЯТОРІВ РОСТУ

А. В. Гаврилюк¹, І. В. Безноско², Д. В. Гуменний³, Д. Т. Гентош⁴

У статті висвітлено результати дослідження особливостей формування фітопатогенного фону в агроценозах томата (*Solanum lycopersicum* L.) за умов застосування стимуляторів росту в системі органічного виробництва. Актуальність роботи зумовлена необхідністю пошуку екологічно безпечних методів регуляції патогенного комплексу, оскільки в органічному землеробстві використання синтетичних засобів захисту рослин є суттєво обмеженим, а фітопатогенні мікроорганізми залишаються одним із головних чинників зниження врожайності культури. Метою дослідження було оцінити вплив біостимуляторів Radifarm та RootStar на видовий склад, частоту трапляння та структуру домінування фітопатогенних мікроорганізмів, асоційованих із насінням і рослинами томата на ранніх етапах онтогенезу. Дослідження проводили в польових і лабораторних умовах із використанням сорту Севен та гібриду MRT 8158 F1, що дало змогу порівняти реакцію різних генотипів культури на дію біорегуляторів. У роботі застосовано комплекс мікологічних, мікробіологічних, фітопатологічних, візуальних та статистичних методів аналізу. Встановлено, що насіння сорту Севен характеризувалося вищим рівнем контамінації патогенними мікроорганізмами порівняно з гібридом MRT 8158 F1, що свідчить про більшу сприйнятливість сортових форм до інфекційного навантаження. Застосування стимуляторів росту сприяло істотному зниженню частоти трапляння більшості фітопатогенів у досліджуваних агроценозах. Найвищу біорегулюючу

¹ доктор філософії, старший науковий співробітник
(Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ)
e-mail: 410agroeco@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8980-7895

² доктор біологічних наук, старший дослідник,
старший науковий співробітник з в.о. завідувача лабораторії біоконтролю
агроєкосистем і органічного виробництва
(Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ)
e-mail: beznoscoirina@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2217-5165

³ здобувач наукового ступеня доктора філософії
(Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ)
e-mail: danilfish@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8980-7895

⁴ кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри фітопатології
ім. акад. В.Ф. Пересипкіна
(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)
e-mail: dgentosh@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8647-7843

ефективність продемонстрував препарат RootStar, особливо у варіанті з гібридом MRT 8158 F1, де відмічено значне зменшення або повне елімінування домінуючих і субдомінуючих патогенів. Отримані результати підтверджують доцільність поєднання гібридних форм томатів із використанням стимуляторів росту як екологічно безпечного та ефективного підходу до регуляції фітопатогенного фону й стабілізації мікробіоти в агроценозах томата.

Ключові слова: мікроміцети, біопрепарати, насіння, біологічний захист, агроєкосистема, пасльонові.

FORMATION OF PHYTOPATHOGENIC BACKGROUND IN TOMATO (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L.) AGROCENOSSES UNDER THE ACTION OF GROWTH STIMULATORS

L. V. Havryliuk, I. V. Beznosko, D. V. Humennyi, D. T. Gentosh

The article highlights the results of a study of the features of the formation of the phytopathogenic background in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) agroecosystems under the conditions of the use of growth stimulants in the organic production system. The relevance of the work is due to the need to find environmentally safe methods of regulating the pathogenic complex, since in organic farming the use of synthetic plant protection products is significantly limited, and phytopathogenic microorganisms remain one of the main factors reducing crop yields. The aim of the study was to assess the impact of Radifarm and RootStar biostimulants on the species composition, frequency of occurrence and structure of dominance of phytopathogenic microorganisms associated with tomato seeds and plants at the early stages of ontogenesis. The study was conducted in field and laboratory conditions using the Seven variety and the MRT 8158 F1 hybrid, which made it possible to compare the reaction of different genotypes of the crop to the action of bioregulators. The work used a complex of mycological, microbiological, phytopathological, visual and statistical methods of analysis. It was found that the seeds of the Seven variety were characterized by a higher level of contamination by pathogenic microorganisms compared to the MRT 8158 F1 hybrid, which indicates a greater susceptibility of varietal forms to infectious load. The use of growth stimulants contributed to a significant reduction in the frequency of occurrence of most phytopathogens in the studied agroecosystems. The highest bioregulatory efficiency was demonstrated by the drug RootStar, especially in the variant with the MRT 8158 F1 hybrid, where a significant reduction or complete elimination of dominant and subdominant pathogens was noted. The results obtained confirm the feasibility of combining hybrid forms of tomatoes with the use of growth stimulants as an environmentally safe and effective approach to regulating the phytopathogenic background and stabilizing mycobiota in tomato agroecosystems.

Key words: micromycetes, biological products, seeds, biological protection, agroecosystem, solanaceae.

Вступ

Сучасні екологічні проблеми зумовлюють необхідність забезпечення населення безпечними та якісними продуктами харчування. Одним із чинників зниження врожайності сільськогосподарських культур є поширення фітопатогенів різного походження, зокрема грибів, бактерій і вірусів. Надмірне використання хімічних засобів захисту рослин призводить до забруднення агроєкосистем і накопичення токсичних речовин у продукції, що негативно впливає на довкілля та здоров'я людини.

Важливою умовою підвищення продуктивності рослинництва є використання здорового насіннєвого матеріалу, оскільки інфіковане насіння знижує схожість і спричиняє значні втрати врожаю. Особливої актуальності набуває біологічна регуляція фітопатогенного мікробіому, зокрема

у посівах томата, де рівень втрат може бути критичним.

Застосування біологічних методів захисту, включаючи не лише біопрепарати, а і рістимулятори дозволяє ефективно стримувати поширення фітопатогенних мікроорганізмів, зменшувати пестицидне навантаження та формувати екологічно стійкі агроценози.

Моніторинг основних хвороб томата та мікробіологічні методи контролю фітопатогенів. Томати (*Solanum lycopersicum* L.) є однією з провідних овочевих культур у світі, проте їх продуктивність суттєво обмежується поширенням грибних, бактеріальних і вірусних хвороб. Генетична одноманітність сучасних сортів зумовлює підвищену сприйнятливість рослин до патогенів, що може призводити до значних втрат урожаю.

Найбільш поширеними та шкодо-чинними грибними хворобами томата є фітофтороз, альтернаріоз, септоріоз, сіра гниль, а також фузаріозне і вертицильозне в'янення, що підтверджено численними дослідженнями українських і зарубіжних учених. За даними наукових праць вчених, ці захворювання можуть зумовлювати втрати врожаю томатів від 30–50 % до 70 % і більше за епіфітотійного розвитку. Дослідники із співавторами Н. Еллі, Д. Панті, Х. Ши (N. Ally, D. Panthee, X. Shi) зазначають, що патогени уражають практично всі органи рослини – листки, стебла, кореневу систему та плоди, що спричиняє пригнічення росту, порушення фізіологічних процесів, передчасне відмирання асиміляційного апарату і суттєве зниження якості продукції (Ally et al., 2023; Panthee et al., 2024; Shi et al., 2024).

Як показано у працях авторів С. Мадахофе, Н. Саллам (S. Madlhophe, N. Sallam) et al. розвиток грибних інфекцій значною мірою визначається метеорологічними чинниками, зокрема рівнем вологості повітря, тривалістю зволоження листової поверхні, температурними коливаннями та агротехнічними умовами вирощування (Madlhophe et al., 2025; Sallam et al., 2023). Науковці Дж. Чжоу, Х. Чжан (J. Zhou, X. Zhang) та ін., а також А. Каніясері, С. Торат (A. Kaniyassery, S. Thorat) підкреслюють, що основними джерелами інфекції є інфіковане насіння, заражений ґрунт та рослинні рештки, в яких патогени здатні зберігатися протягом тривалого часу. За сприятливих умов вони швидко накопичуються в агроценозі, що підтверджує необхідність системного фітосанітарного контролю (Kaniyassery et al., 2023; Zhou et al., 2024).

За результатами досліджень Д. Мхя (D. Mhya) та ін. встановлено, що хімічні фунгіциди є ефективним засобом обмеження розвитку грибних хвороб, однак багато вчених звертають увагу на їхні суттєві недоліки. У науковій літературі наголошується на ризику забруднення ґрунту та водних ресурсів, накопичення залишкових кількостей пестицидів у рослинній продукції, негативному впливі на корисну мікробіоту та ентомофауну, а також на здатності патогенів формувати резистентні раси (Mhya et al., 2024). У зв'язку з цим у сучасних дослідженнях дедалі більше уваги приділяється розробленню та впровадженню екологічно безпечних альтернатив, зокрема біологічних препаратів, мікробних анта-

гоністів і концепції інтегрованого захисту рослин, що розглядається науковцями як перспективний напрям сталого розвитку агровиробництва.

Серед бактеріальних хвороб найбільше значення мають бактеріальний рак і бактеріальна плямистість, які часто передаються насінням та швидко поширюються за умов високої вологості. Для ранньої діагностики використовують молекулярні методи (ПАР, LAMP), а профілактика базується на використанні здорового насіннєвого матеріалу та дотриманні агротехнічних заходів (Akila et al., 2024; Papazoglou et al., 2025; Sorokan et al., 2023).

Вірусні хвороби (TSWV, CMV, TYLCV, ToMV) здатні спричиняти катастрофічні втрати врожаю, особливо за наявності комах-переносників. Основою контролю є профілактика, використання стійких сортів та фітосанітарний контроль посадкового матеріалу (Hussain et al., 2025; Hemmati et al., 2025; Xu et al., 2026).

Перспективним напрямом є біологічний контроль фітопатогенів із застосуванням мікроорганізмів-антагоністів (*Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., мікоризні та ендоефітні гриби). Такі біоагенти здатні пригнічувати розвиток патогенів, активувати захисні механізми рослин, покращувати мінеральне живлення та підвищувати продуктивність томатів (Karačić et al., 2024; Ivezić et al., 2025).

Недостатньо вивченим залишається напрям дослідження впливу стимуляторів росту на процеси біорегуляції фітопатогенів в агрофітоценозах. Застосування стимуляторів росту розглядається як перспективний екологічно безпечний підхід до контролю фітопатогенного фону, що може сприяти зменшенню інфекційного навантаження без надмірного використання хімічних засобів захисту рослин. Такий підхід потенційно забезпечує підвищення природної стійкості рослин, оптимізацію мікробіоценозу ґрунту та стабілізацію фітосанітарного стану агроєкосистем. Подальше вивчення механізмів дії стимуляторів росту є актуальним завданням у контексті впровадження ресурсозберігаючих і екологічно орієнтованих технологій у сучасному землеробстві. Таким чином, використання ріст стимуляторів у поєднанні з інтегрованою системою захисту рослин є екологічно безпечним і науково обґрунтованим шляхом біорегуляції фітопатогенного фону в агроценозах томатів.

Матеріал і методи

Дослідження з оцінки ефективності застосування препаратів в агроценозах томатів проводили у тепличних умовах Сквирської дослідної станції органічного виробництва та в лабораторії біоконтролю агроєкосистем і органічного виробництва відділу агробіоресурсів і екологічно безпечних технологій Інституту агроєкології і природокористування НААН.

Для проведення досліджень використовували сорт томату Севен (селекціонований Інститутом овочівництва і багтанництва НААН України) та гібрид томату MRT 8158 F1 (виробник: Manier Tohumculuk / MRT Seeds, Туреччина). Досліджували томати стійкі до основних хвороб пасльонових.

Зазначені сорт та гібрид вирощували із додаванням біостимуляторів-укорінювачів: Radifarm (виробник – італійська компанія Valagro) та RootStar (німецький виробник Nuti).

Польовий дослід був закладений за трифакторною схемою з метою оцінки ефективності зменшення ступеня ураження рослин томата фітопатогенами. Передбачено такі варіанти:

- варіант 1 – контроль (без внесення препаратів);
- варіант 2 – еталон (Radifarm);
- варіант 3 – досліджуваний варіант (RootStar).

Оцінку ефективності дії препаратів проводили шляхом порівняння дослідних варіантів із контролем, що дозволило об'єктивно визначити вплив препаратів на формування видового складу мікроорганізмів на ранніх етапах онтогенезу.

В лабораторних умовах досліджували:

- видовий склад ендоефітної мікробіоти насіння рослин *Solanum lycopersicum* L. (перед висадкою в теплицю);
- спектр та частота трапляння мікроміцетів рослин *Solanum lycopersicum* L. (фаза сходів та фаза формування 6 листків);

Відбір проб здійснювався за загальноприйнятими в фітопатології методиками (Андрієвська та ін., 2001). Мікологічну експертизу рослин томата проводили згідно ДСТУ 4138:2002 (ДСТУ, 2003). Для оцінки видового різноманіття мікроміцетів використовували методи порівняльної флористики – розраховували частоту трапляння у відсотках, використовуючи коефіцієнт Тюрінга (Леонтьєв, 2007):

$$A = \frac{B}{C} * 100$$

де А – частота трапляння видів; В – кількість зразків, у яких виділено цей вид; С – загальна кількість виділених видів.

Математичну обробку експериментальних даних здійснювали відповідно до загальноприйнятих методів дисперсійного аналізу за методикою Доспехова Б.А., що дозволило оцінити достовірність різниці між варіантами досліду. Статистичну обробку експериментальних даних проводили за загальноприйнятими методиками з використанням комп'ютерних програм Microsoft Excel та проведено однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA, тест Тьюкі). Різниця між контрольними і експериментальними показниками вважали значимими, коли ймовірність різниці становила $P < 0,05$.

Застосована схема досліду, система спостережень та методи статистичної обробки забезпечили наукову обґрунтованість та достовірність отриманих результатів щодо ефективності досліджуваних препаратів.

Результати та обговорення

Видовий склад ендоефітної мікробіоти насіння рослин *Solanum lycopersicum* L. (перед висадкою в теплицю). Іноді інфіковане насіння має достатньо високу схожість, але інфекція проявляється з часом, викликаючи відповідні симптоми і порушення функціонування рослин. Сівба інфікованим насінням, особливо за традиційної технології вирощування, призводить до накопичення в ґрунті комплексу інфекційних структур різноманітних збудників хвороб, що проявляються з часом за відповідних умов.

В лабораторних умовах було досліджено мікробіоту насіння томатів (рис. 1).

Із насіння досліджуваних сортів *Solanum lycopersicum* L. було виділено та ідентифіковано 5 видів патогенних мікроорганізмів: *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, *Pseudomonas corrugata*, *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*, *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*, *Penicillium digitatum* (рис. 2).

За показниками частоти трапляння фітопатогенів на насінні томатів, представленими на рисунку 2, можна виділити домінантні, субдомінантні та рідкісні види, структура яких суттєво відрізняється між сортом Севен і гібридом MRT 8158 F1.

У сорту Севен до домінантних видів належать бактеріальні патогени *Pseudomonas syringae* (14,0 %) та *Xanthomonas campestris* (13,9 %), які характеризуються найвищою частотою трапляння і формують основу патогенного комплексу насіння. Субдомінантними видами є бактерії видів *Pseudomonas corrugata* (11,8 %) та

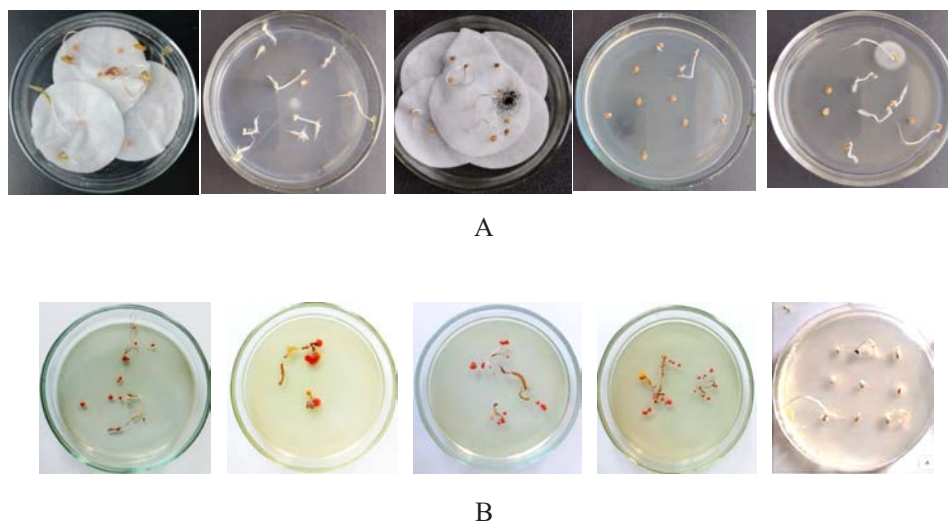


Рис. 1. Патогенні мікроорганізми насіння *Solanum lycopersicum* L.
(А – сорт Себен; В – гібрид MRT 8158 F1)

Джерело: результати власних досліджень

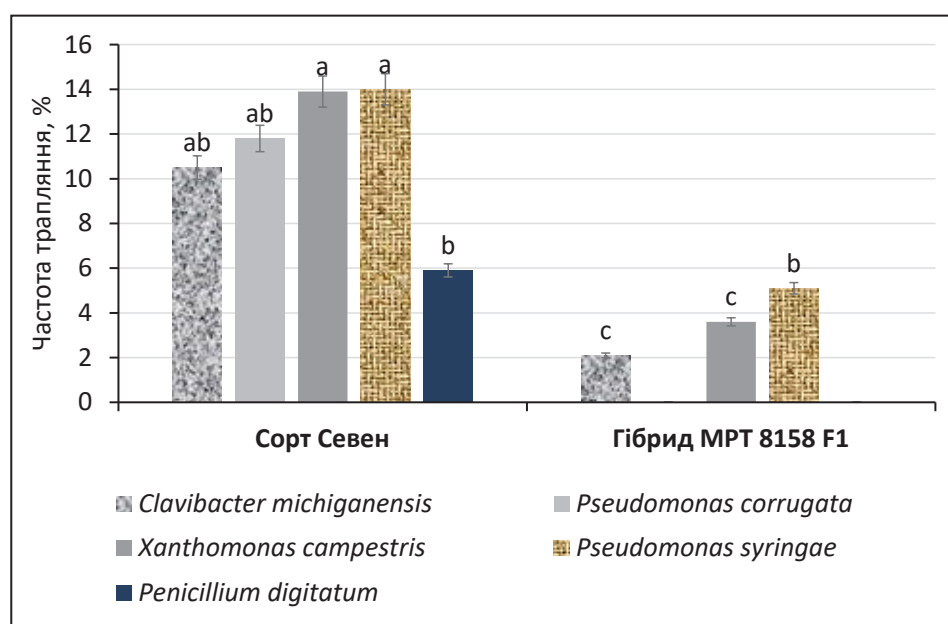


Рис. 2. Частота трапляння патогенних мікроорганізмів
на насінні *Solanum lycopersicum* L. сорта Себен та гібрида MRT 8158 F1

Примітка: різні літери в межах одного рядка вказують на статистично значущу різницю між варіантами ($p \leq 0,05$, критерій Тьюкі)

Джерело: результати власних досліджень

Clavibacter michiganensis (10,5 %), що мають дещо нижчі, але стабільні показники поширення і відіграють істотну роль у загальному рівні інфікованості. До рідкісних видів віднесено мікроміцет виду *Penicillium digitatum* (5,9 %), присутність якого носить обмежений характер і, ймовірно, пов'язана з умовами зберігання насіння. У гібриду MRT

8158 F1 структура мікробіоти є спрощеною: домінантні види відсутні, що свідчить про низький рівень контамінації насіння. Бактерії видів *Pseudomonas syringae* (5,1 %) та *Xanthomonas campestris* (3,6 %) можна віднести до субдомінантних або малопоширених видів, тоді як бактерія *Clavibacter michiganensis* (2,1%) належить до рідкісних

компонентів мікобіоти. А також бактерія виду *Pseudomonas corrugata* та мікроміцет *Penicillium digitatum* у насінні гібриду не виявлялися, що додатково підтверджує його вищий фітосанітарний стан.

Визначали статистичний показник стандартного відхилення (SD). Отже, середній рівень контамінації насіння мікроорганізмами у сорта Себен становив 11,22%, що майже у 5 разів перевищує відповідний показник у варіанті гібрида MRT 8158 F1 (2,16%). Підвищене значення стандартного відхилення у сорта Себен (SD = 3,28) свідчить про більшу варіабельність видового складу мікобіоти, тоді як у гібриду MRT 8158 F1 (SD = 2,20) нижчий і вказує на стабільніший і кращий фітосанітарний стан насіння.

Спектр і частота трапляння мікроміцетів на рослинах *Solanum lycopersicum* L. у фазі сходів. У фазі сходів на рослинах томатів паразитувало 16 видів фітопатогених мікроміцетів із різною частотою трапляння від 5 до 45%. А саме: *Alternaria alternata*, *Alternaria solani*, *Penicillium digitatum*, *Trichothecium roseum*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Passalora fulva*, *Nigrospora oryzae*, *Rhizopus stolonifer*, *Aspergillus niger*, *Botrytis*

cinerea, *Arthrinium phaeospermum*, *Curvularia protuberata*, *Phytophthora infestans*, *Phomopsis phaseoli*.

За результатами аналізу частоти трапляння мікроміцетів на рослинах томатів до обробки стимуляторами росту встановлено чітку диференціацію видів на домінуючі, субдомінуючі та рідкісні як у сорта Себен, так і у гібрида MRT 8158 F1. Їхня частота трапляння коливалася від 5 до 45% (рис. 3).

За даними представленими на рисунку 4 встановлено, що у сорта Себен домінуючий комплекс формують види з найвищою частотою трапляння: *A. alternata* (45%), *P. digitatum* (40%), *F. oxysporum* (37%), *R. stolonifer* і *P. infestans* (до 33%), а також *A. phaeospermum* (30%). Наявність кількох домінуючих свідчить про високий рівень ураженості рослин та значне фітопатогенне навантаження в агроценозі до застосування стимуляторів росту. Субдомінуючими видами є *A. solani*, *F. solani* та *P. fulva* (до 25%), *B. cinerea* (20%) і *C. protuberata* (16%), які мають стабільну, але помірну частоту трапляння. До рідкісних видів належать *T. roseum*, *N. oryzae* та *A. niger* (до 12%), а також *P. phaseoli* (13%), присутність яких не визначає загальну структуру мікобіоти.

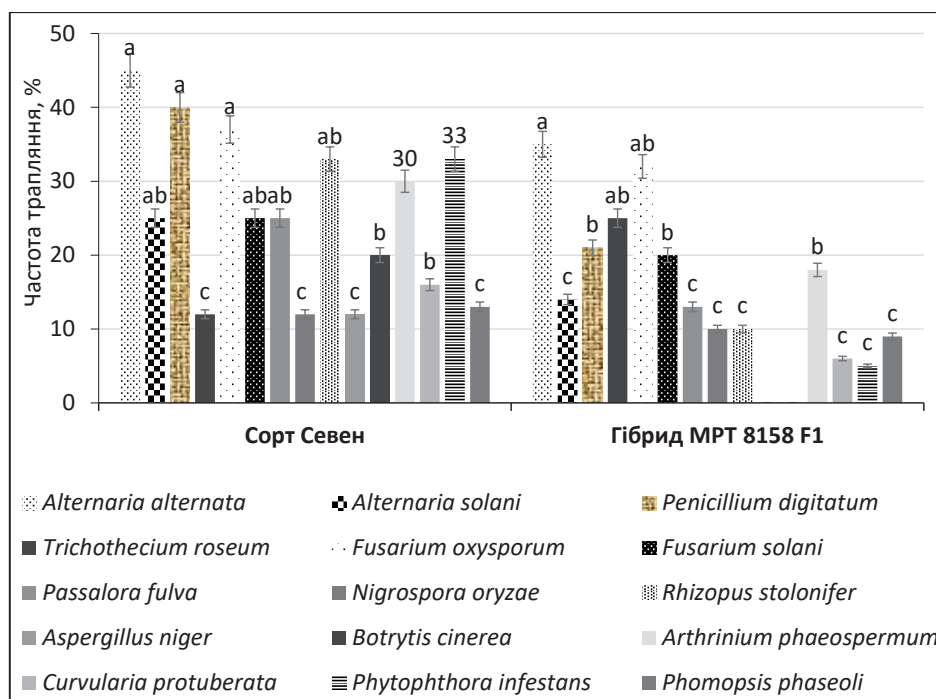


Рис. 3. Частота трапляння мікроміцетів на рослинах *Solanum lycopersicum* L. сорта Себен та гібрида MRT 8158 F1 (без препаратів)

Примітка: різні літери в межах одного рядка вказують на статистично значущу різницю між варіантами ($p \leq 0,05$, критерій Тьюкі)

Джерело: результати власних досліджень

У гібрида MPT 8158 F1 структура мікобіоти є менш насиченою та характеризується нижчими показниками частоти трапляння. До домінантних видів належать *A. alternata*, *F. oxysporum* та *T. roseum* від 25 до 35%, що формують основу мікобіотичного комплексу томатів. Субдомінантними видами є *P. digitatum*, *F. solani*, *A. phaeospermum*, *A. solani* і *P. fulva* із частотою трапляння від 13 до 21%. До рідкісних належали фітопатогени ***N. oryzae*, *R. stolonifer*, *P. phaseoli*, *C. protuberata* та *P. infestans***, частота трапляння яких становила 5–10 %, тоді як ***A. niger* і *B. cinerea*** у гібриду не виявлено.

Отже, до обробки стимуляторами росту сорт Севен характеризувався більш різноманітним і патогенно насиченим домінантним комплексом фітопатогенних мікроміцетів, що вказує на його вищу сприйнятливість до формування фітопатогенного фону в агрофітоценозах, тоді як гібрид MPT 8158 F1 відзначався зниженим рівнем контамінації та переважанням субдомінантних і рідкісних видів, що свідчить про кращу фітосанітарну стабільність рослин в агрофітоценозах.

Розраховані стандартні відхилення сорт Севен SD = 10.95, відображає значну варіабельність частот мікроміцетів – від високодомінантних до рідкісних видів. Водночас для гібриду MPT 8158 F1 (SD = 8.91), підтверджує менш насичену та рівномірнішу

структуру мікобіоти. Отримані дані свідчать про доцільність застосування гібридних форм для зменшення патогенного навантаження в агроценозах томатів.

Спектр і частота трапляння мікроміцетів на рослинах *Solanum lycopersicum* L. у фазі шести листків. У всіх природних місцях проживання, рослини оточені величезною кількістю потенційних біотичних шкідників і різними видами екологічного стресу абіотичної природи. Тому були відібрані та проаналізовані рослини томатів перед висадкою у відкритий ґрунт досліджуваного сорту та гібриду рослин *Solanum lycopersicum* L. (рис. 4).

У фазу шести листків, на рослинах томатів ідентифіковано 15 видів фітопатогенних мікроміцетів, які належать до родів *Alternaria* spp., *Penicillium digitatum* spp., *Trichothecium* spp., *Fusarium* spp., *Passalora* spp., *Nigrospora* spp., *Rhizopus* spp., *Aspergillus* spp., *Botrytis* spp., *Arthrinium* spp., *Phytophthora* spp., *Phomopsis* spp. (рис. 4).

За дії препаратів Radifarm та RootStar на вегетативних органах сорта Севен та гібрида MPT 8158 F1 визначено частоту трапляння фітопатогенів від 2 до 50% (рис. 5).

У контрольному варіанті (без обробки) частота трапляння домінантних видів на рослинах сорта Севен була високою:

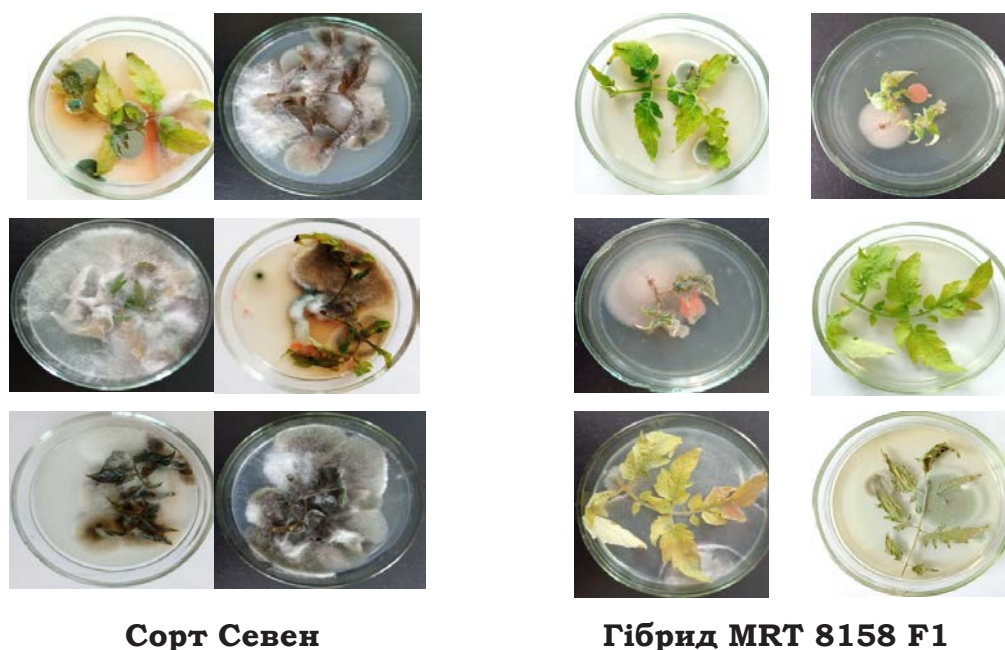


Рис. 4. Патогенні мікроорганізми рослин *Solanum lycopersicum* L. на сорті Севен та гібриді MPT 8158 F1

Джерело: результати власних досліджень

A. alternata – 50%, *P. digitatum* – 45%, *F. oxysporum* – 40%, *R. stolonifer* – 36%, *P. infestans* – 38%, а субдомінантні види, такі як *F. solani* – 35%, *A. phaeospermum* – 35% та *P. fulva* – 28%, також мали значне поширення. Рідкісні види: *T. roseum*, *C. protuberata*, *P. phaseoli*, *N. oryzae*, *A. niger* і *B. cinerea*, зустрічалися менш часто від 15 до 20%. У гібрида MPT 8158 F1 контроль (без обробки) показав нижчі показники частоти трапляння: *A. alternata* – 38%, *F. oxysporum* – 33%, *R. stolonifer* – 11%, *P. infestans* – 13%, *P. digitatum* – 26%, а субдомінантні види були представлені частотою 12–22 %, рідкісні до 15%.

За дії препаратом Radifarm на рослинах сорта Севен відбулося зниження частоти трапляння домінантних видів: *A. alternata* – 45%, *P. digitatum* – 35%, *F. oxysporum* – 35%, *R. stolonifer* – 21%, *P. infestans* – 23%, а субдомінанти *F. solani* – 32%, *A. phaeospermum* – 27%, *P. fulva* – 24%. Рідкісні види: *T. roseum*, *C. protuberata*, *P. phaseoli* до 12%.

У рослин гібрида MPT 8158 F1 після застосування препарату Radifarm частота трапляння домінантних видів істотно знизилася і становила: *A. alternata* – 34%, *F. oxysporum* – 30%, *Phytophthora infestans* – 4 %, *P. digitatum* – 13%, а субдо-

мінантів *F. solani* – 13%, *A. phaeospermum* – 3%, *P. fulva* – 12%. Рідкісними були: *T. roseum*, *C. protuberata* та *P. phaseoli*, частота трапляння яких не перевищувала 7 %.

Обробка препаратом RootStar у рослин сорту Севен зумовила подальше зниження частоти трапляння більшості патогенів: *A. alternata* – 35%, *P. digitatum* – 24%, *F. oxysporum* – 28%, *R. stolonifer* – 12%, *P. infestans* – 15%, а субдомінантних видів: *F. solani* – 12%, *A. phaeospermum* – 13%, *P. fulva* – 14%; рідкісного виду *T. roseum* – 7%. Водночас у рослин гібрида MPT 8158 F1 препарат RootStar знизив частоту трапляння всіх патогенів до мінімальних або нульових значень: *A. alternata* – 30%, *F. oxysporum* – 17%, *P. infestans* – 3%, *P. digitatum* – 10%, а субдомінанти та рідкісні види (*F. solani* – 2%, *A. phaeospermum* – 3%, *P. fulva* – 0%) практично відсутні.

У результаті проведених розрахунків стандартного відхилення встановлено, що у контрольному варіанті сорт Севен характеризувався значно вищою варіабельністю частоти трапляння фітопатогенних мікроміцетів ($SD = 11.81$), що свідчить про складну й нерівномірну структуру мікобіоти та високий рівень інфекційного навантаження. Після застосування препаратів Radifarm

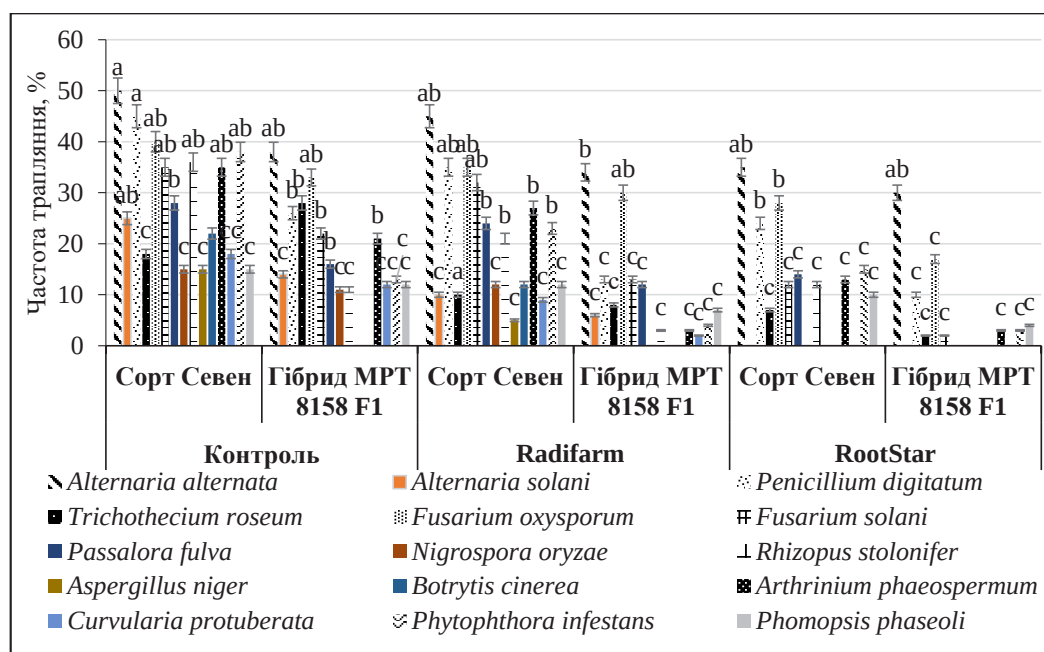


Рис. 5. Частота трапляння мікроміцетів на рослинах *Solanum lycopersicum* L. сорту Севен та гібриду MPT 8158 F1 (за дії препаратів)

Примітка: різні літери в межах одного рядка вказують на статистично значущу різницю між варіантами ($p \leq 0,05$, критерій Тьюкі)

Джерело: результати власних досліджень

та RootStar показник стандартного відхилення поступово знижувався до 10.86 та 9.13 відповідно, що відображає вирівнювання патогенного комплексу та зменшення загальної контамінації. У гібриду MRT 8158 F1 вихідне SD також було нижчим (9.79), що підтверджує його початково вищу фітосанітарну стабільність. Після обробки препаратами спостерігалася дещо інша динаміка: SD за дії Radifarm та RootStar становило 10.65 і 10.86 в, що пов'язано з різким пригніченням окремих патогенів до мінімальних або нульових значень. Отже, зниження показника SD у рослин сорту Севен та стабільно низькі його значення у рослин гібрида MRT 8158 F1 демонструють ефективність застосованих препаратів у зниженні патогенного тиску в агроценозі томатів та підтверджують вищу толерантність гібрида до формування фітопатогенного фону.

Таким чином, застосування рістимуляторів Radifarm і RootStar сприяло істотному зниженню частоти трапляння більшості фітопатогенів. При цьому препарат RootStar виявив вищу ефективність у варіанті з гібридом MRT 8158 F1, забезпечивши повне елімінування домінантних і субдомінантних видів фітопатогенних мікроорганізмів.

Висновки

1. У насінні сорту Севен ідентифіковано 5 видів патогенних мікроорганізмів із середнім рівнем контамінації 11,22 %, що майже у 5 разів перевищує відповідний показник у гібриду MRT 8158 F1 (2,16 %). Вищі значення стандартного відхилення у сорту Севен ($SD = 3,28$) свідчать про більшу варіабельність і нестабільність патогенного комплексу порівняно з гібридом ($SD = 2,20$).

2. У фазу сходів на рослинах томатів ідентифіковано 16 видів фітопатогенних мікроміцетів із частотою трапляння від 5 до 45 %. Сорт Севен характеризувався більш насиченим домінантним комплексом, представленим *Alternaria alternata* (45 %), *Penicillium digitatum* (40 %), *Fusarium oxysporum* (37 %) та *Phytophthora infestans* (до 33 %), що вказує на високий рівень фітопатогенного навантаження в агрофітоценозі. У гібриду MRT 8158 F1 домінантний комплекс був обмежений трьома видами з максимальною частотою 35 %, а частка рідкісних видів зростала.

3. У фазу формування шести листків встановлено наявність 15 видів фітопатогенних мікроміцетів, при цьому в контрольному варіанті частота трапляння домінантних видів у сорту Севен досягала 50 %, тоді як у гібриду MRT 8158 F1 – не перевищувала 38 %, що підтверджує вищу здатність гібридних рослин до формування патогенного фону.

4. Застосування стимуляторів росту Radifarm і RootStar сприяло суттєвому зниженню частоти трапляння домінантних, субдомінантних і рідкісних фітопатогенів у обох генотипів. За дії Radifarm частота трапляння *Phytophthora infestans* у гібриду MRT 8158 F1 зменшилася з 13 % до 4 %, а *Penicillium digitatum* – з 26 % до 13 %.

5. Найвищу біореґулюючу ефективність продемонстрував препарат RootStar, який у гібриду MRT 8158 F1 знизив частоту трапляння більшості фітопатогенів до мінімальних або нульових значень: *Fusarium solani* до 2 %, *Passalora fulva* 0 %, *Phytophthora infestans* 3 %, що свідчить про виражений фітосанітарний ефект препарату.

6. Отримані результати підтверджують доцільність поєднання гібридних форм томатів із використанням стимуляторів росту як екологічно орієнтованого підходу до зниження фітопатогенного навантаження та стабілізації мікобіоти в агрофітоценозах томатів.

Список використаної літератури

- Андрієвська С.А., Барабаш О.Ю. Сучасні методи селекції овочевих і баштанних культур (ред. Горової Т.К. та Яковенка К.І.). Харків, 2001. 644 с.
- ДСТУ 4138:2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2003-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України. 2002. 78 с.
- Леонтьев Д.В. Флористичний аналіз у мікології: підручник. Харків. Вид. група «Основа». 2007. 160 с.
- Akila A.H., Ali M.A., Khairy A.M., Elnahal A.S., Alfassam H.E., Rudayni, H.A., ... & Tohamy M.R. Biological control of tomato bacterial leaf spots and its impact on some antioxidant enzymes, phenolic compounds, and pigment content. *Biology*. 2024. 13(6). 369. <https://doi.org/10.3390/biology13060369>
- Ally N.M., Neetoo H., Ranghoo-Sanmukhiya V.M., & Coutinho T.A. Greenhouse-grown tomatoes: microbial diseases and their control methods. *International Journal of Phytopathology*. 2023. 12(01). 99-127. <https://doi.org/10.33687/phytopath.012.01.4273>

- Hemmati F., Behjatnia S.A.A., Moghadam A. & Afsharifar A. Induction of systemic resistance against cucumber mosaic virus (CMV) and tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) in tomato. *International Journal of Pest Management*. 2025. 71(3). 307-320. <https://doi.org/10.1080/09670874.2023.2202150>
- Hussain M.D., Farooq T., Datt N., Li J., Kamran A., Sukal A., . . . & Chen X. Mapping the enigma of cryptic tomato yellow stunt disease: a synergistic viral infection threatening global tomato health. *Plant Disease*, (ja). 2025. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-25-0930-SC>
- Ivezić A., Popović T., Trudić B., Krndija J., Barošević T., Sarajlić A., . . . & Kuzmanović B. Biological control agents in greenhouse tomato production (*Solanum lycopersicum* L.): Possibilities, challenges and policy insights for Western Balkan region. *Horticulturae*. 2025. 11(2). 155. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11020155>
- Kaniyassery A., Thorat S.A., Kiran K.R., Murali T.S. & Muthusamy A. Fungal diseases of eggplant (*Solanum melongena* L.) and components of the disease triangle. *Journal of Crop Improvement*. 2023. 37(4). 543-594. <https://doi.org/10.1080/15427528.2022.2120145>
- Karačić V., Miljaković D., Marinković J., Ignjatov M., Milošević D., Tamindžić G. & Ivanović M. *Bacillus* species: Excellent biocontrol agents against tomato diseases. *Microorganisms*. 2024. 12(3). 457. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12030457>
- Madlhophe S., Ogugua U.V., Makhubu F.N. & Figlan S. Use of biological control agents for managing fungal pathogens in Solanaceae crops: progress and future perspectives. *Discover Applied Sciences*. 2025. 7(1). 83. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06500-9>
- Mhya D.H., Muhammad J.S., Urmur N.S. & Mohammed A. Impact of chemical pesticides on antioxidant constituents and free radical scavenging capacity of pesticide-treated tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits. *Journal of Agriculture and Environment*. 2024. 20(1). 187-199. <https://doi.org/10.4314/jagrenv.v20i1.19>
- Panthee D.R., Pandey A. & Paudel R. Multiple foliar fungal disease management in tomatoes: a comprehensive approach. *International Journal of Plant Biology*. 2024. 15(1). 69-93. <https://doi.org/10.3390/ijpb15010007>
- Papazoglou P., Navrozidis I., Testempasis S., Pantazi X.E., Lagopodi A. & Alexandridis T. Early detection of bacterial canker in tomato plants using spectroscopy for smart agriculture applications. *Biosystems Engineering*. 2025. 251. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2025.01.009>
- Sallam N.M., AbdElfatah H.A.S., Khalil Bagy H.M., Elfarash A., Abo-Elyousr K.A., Sikora E.J. & Sallam A. Exploring the mechanisms of endophytic bacteria for suppressing early blight disease in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Frontiers in Microbiology*. 2023. 14. 1184343. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1184343>
- Shi X.Q., Zhu D.H., Chen J.L., Qin Y.Y., Li X.W., Qin S., & Xing K. Growth promotion and biological control of fungal diseases in tomato by a versatile rhizobacterium, *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aureofaciens* SPS-41. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2024. 131. 102274. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2024.102274>
- Sorokan A.V., Burkhanova G.F., Veselova S.V., Singh B.P., Upadhyaya K., Khairullin R.M. & Maksimov I.V. Endophytic bacteria to control plant viruses: an overview. *Microbial Endophytes and Plant Growth*. 2023. 51-66. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90620-3.00018-0>
- Xu L., Liu Y., Sun P., Gao J., Yang Y., Shi Y., . . . & Zhang L. Detection and Identification of Tomato Viruses in Inner Mongolia. *Journal of Southwest University Natural Science Edition*. 2026. 48(1). 59-74. <https://doi.org/10.13718/j.cnki.xdzk.2026.01.006>
- Zhou J., Zhang X., Qu Z., Zhang C., Wang F., Gao T., . . . & Liang J. Progress in research on prevention and control of crop fungal diseases in the context of climate change. *Agriculture*. 2024. 14(7). 1108. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071108>

References

- Andriievskaya, S.A., Barabash, O.Yu. (2001). Suchasni metody selektsii ovochevykh i bashtannykh kultur Modern methods of selection of vegetable and melon crops [Red. Horovoi T. K. ta Yakovenka K. I.). *Instytut ovochivnytstva i bashtannytstva [Institute of Vegetable and Melon Growing]*. Kharkiv. 644 s. [in Ukrainian].
- DSTU 4138:2002. (2003). Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [Seeds of agricultural crops. Methods of determining quality. Methods of determining quality. Derzhspozhyvstandart Ukrainy]. Kyiv. 78 s [in Ukrainian].
- Leontiev, D.V. (2007). Florystychnyi analiz u mikolohii [Floristic analysis in mycology]. Kharkiv. Vyd. hrupa «Osnova» 160 s [in Ukrainian].
- Akila, A.H., Ali, M.A., Khairy, A.M., Elnahal, A.S., Alfassam, H.E., Rudayni, H.A., ... & Tohamy, M.R. (2024). Biological control of tomato bacterial leaf spots and its impact on some antioxidant enzymes, phenolic compounds, and pigment content. *Biology*, 13(6), 369. <https://doi.org/10.3390/biology13060369>

- Ally, N.M., Neetoo, H., Ranghoo-Sanmukhiya, V.M., & Coutinho, T.A. (2023). Greenhouse-grown tomatoes: microbial diseases and their control methods. *International Journal of Phytopathology*, 12(01), 2023. 99-127. <https://doi.org/10.33687/phytopath.012.01.4273>
- Hemmati, F., Behjatnia, S.A.A., Moghadam, A., & Afsharifar, A. (2025). Induction of systemic resistance against cucumber mosaic virus (CMV) and tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) in tomato. *International Journal of Pest Management*, 71(3), 307-320. <https://doi.org/10.1080/09670874.2023.2202150>
- Hussain, M.D., Farooq, T., Datt, N., Li, J., Kamran, A., Sukal, A., . . . & Chen, X. (2025). Mapping the enigma of cryptic tomato yellow stunt disease: a synergistic viral infection threatening global tomato health. *Plant Disease*, (ja). <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-25-0930-SC>
- Ivezić, A., Popović, T., Trudić, B., Krndija, J., Barošević, T., Sarajlić, A., . . . & Kuzmanović, B. (2025). Biological control agents in greenhouse tomato production (*Solanum lycopersicum* L.): Possibilities, challenges and policy insights for Western Balkan region. *Horticulturae*, 11(2), 155. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11020155>
- Kaniyassery, A., Thorat, S.A., Kiran, K.R., Murali, T.S., & Muthusamy, A. (2023). Fungal diseases of eggplant (*Solanum melongena* L.) and components of the disease triangle. *Journal of Crop Improvement*, 37(4), 543-594. <https://doi.org/10.1080/15427528.2022.2120145>
- Karačić, V., Miljaković, D., Marinković, J., Ignjatov, M., Milošević, D., Tamindžić, G., & Ivanović, M. (2024). *Bacillus* species: Excellent biocontrol agents against tomato diseases. *Microorganisms*, 12(3), 457. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12030457>
- Madlhophe, S., Ogugua, U.V., Makhubu, F.N., & Figlan, S. (2025). Use of biological control agents for managing fungal pathogens in Solanaceae crops: progress and future perspectives. *Discover Applied Sciences*, 7(1), 83. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06500-9>
- Mhya, D.H., Muhammad, J.S., Urmar, N.S., & Mohammed, A. (2024). Impact of chemical pesticides on antioxidant constituents and free radical scavenging capacity of pesticide-treated tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits. *Journal of Agriculture and Environment*, 20(1), 187-199. <https://doi.org/10.4314/jagrenv.v20i1.19>
- Panthee, D.R., Pandey, A., & Paudel, R. (2024). Multiple foliar fungal disease management in tomatoes: a comprehensive approach. *International Journal of Plant Biology*, 15(1), 69-93. <https://doi.org/10.3390/ijpb15010007>
- Papazoglou, P., Navrozidis, I., Testempasis, S., Pantazi, X.E., Lagopodi, A., & Alexandridis, T. (2025). Early detection of bacterial canker in tomato plants using spectroscopy for smart agriculture applications. *Biosystems Engineering*, 251, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2025.01.009>
- Sallam, N.M., AbdElfatah, H.A.S., Khalil Bagy, H.M., Elfarash, A., Abo-Elyousr, K.A., Sikora, E.J., & Sallam, A. (2023). Exploring the mechanisms of endophytic bacteria for suppressing early blight disease in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Frontiers in Microbiology*, 14, 1184343. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1184343>
- Shi, X.Q., Zhu, D.H., Chen, J.L., Qin, Y.Y., Li, X.W., Qin, S., & Xing, K. (2024). Growth promotion and biological control of fungal diseases in tomato by a versatile rhizobacterium, *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aureofaciens* SPS-41. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 131, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2024.102274>
- Sorokan, A.V., Burkhanova, G.F., Veselova, S.V., Singh, B.P., Upadhyaya, K., Khairullin, R.M., & Maksimov, I.V. (2023). Endophytic bacteria to control plant viruses: an overview. *Microbial Endophytes and Plant Growth*, 51-66. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90620-3.00018-0>
- Xu, L., Liu, Y., Sun, P., Gao, J., Yang, Y., Shi, Y., . . . & Zhang, L. (2026). Detection and Identification of Tomato Viruses in Inner Mongolia. *Journal of Southwest University Natural Science Edition*, 48(1), 59-74. <https://doi.org/10.13718/j.cnki.xdzk.2026.01.006>
- Zhou, J., Zhang, X., Qu, Z., Zhang, C., Wang, F., Gao, T., . . . & Liang, J. (2024). Progress in research on prevention and control of crop fungal diseases in the context of climate change. *Agriculture*, 14(7), 1108. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071108>

Дата першого надходження статті до видання: 17.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



УДК 633.15:632.954:577.15

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.3>

ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ФЕРМЕНТАТИВНИХ РЕАКЦІЙ КУКУРУДЗИ ЗА СУМІСНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ГЕРБІЦИДУ ТА БІОПРЕПАРАТУ

О. І. Заболотний¹

Тривале використання високих норм мінеральних добрив та пестицидів різного спектру викликає зміни біологічної рівноваги в агроєкосистемах. Це, у свою чергу, викликає зниження природної родючості ґрунтів та погіршення адаптивного потенціалу культурних рослин, закладених природою та селекцією. Тому запровадження елементів екологізації технологій вирощування польових культур, зокрема використання різноманітних біопрепаратів, і подальший перехід до повної екологізації рослинництва стає стратегічною необхідністю для забезпечення продовольчої безпеки країни.

Провідне місце в оцінці ефективності впливу різноманітних біоагентів посідає вивчення ензиматичного апарату рослини. Відомо, що ферментативна активність виступає найшвидшим і найбільш точним біомаркером фізіологічного стану рослинного організму, відображаючи зміни в обміні речовин ще до появи візуальних морфологічних ознак. Дослідження впливу сучасних біопрепаратів на активність ключових ферментів є фундаментальним завданням для розробки високо-ефективних та екологічно безпечних технологій вирощування сільськогосподарських культур.

Виявлено, що застосування гербіциду Рініді, в.г. викликає двофазну реакцію антиоксидантної ферментної системи рослин кукурудзи: первинну мобілізацію захисних ферментів на 3-тю добу та їхнє подальше виснаження за визначення на 10-ту добу. У варіантах досліді із застосуванням лише гербіциду без біопрепарату це проявляється у критичному падінні активності каталази на 30% відносно початкового сплеску, що супроводжується сталим зростанням рівня пероксидази та поліфенолоксидази. Такий дисбаланс свідчить про перехід оксидативного стресу у хронічну фазу, інтенсивність якої прямо пропорційна нормі внесення гербіциду.

Включення до бакової суміші біопрепарату Egrow певною мірою нівелює фітотоксичний вплив гербіциду, трансформуючи напрям захисних реакцій від деструкції в репарації. Біоагент забезпечує тривалу стабілізацію каталазної активності та прискорену нормалізацію рівня інших окиснювальних ферментів. Таким чином, введення до бакової суміші біопрепарату Egrow є ефективним механізмом екологізації інтенсивного рослинництва, оскільки дає змогу підтримувати фізіологічну стійкість агро-екоценозу та мінімізувати негативні наслідки пестицидного навантаження на довкілля.

Ключові слова: екологізація, ензими, каталаза, пероксидаза, поліфенолоксидаза, активність, Рініді, Egrow.

¹ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри агробіології та біохімії
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: aleks.zabolotnyi@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0069-1617

ECOTOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF ENZYMATIC REACTIONS OF MAIZE UNDER THE APPLICATION OF HERBICIDE AND BIOPREPARATION

O. I. Zabolotnyi

The prolonged use of high levels of mineral fertilizers and pesticides of various types causes changes in the biological balance of agroecosystems. This, in turn, leads to a decrease in the natural fertility of soils and a deterioration in the adaptive potential of cultivated plants, which is determined by nature and selection. Therefore, the introduction of elements of greening in field crop cultivation technologies, in particular the use of various biological products, and the subsequent transition to fully green crop production is becoming a strategic necessity to ensure the country's food security.

The study of the enzymatic apparatus of plants plays a leading role in assessing the effectiveness of various bioagents. It is known that enzymatic activity is the fastest and most accurate biomarker of the physiological state of a plant organism, reflecting changes in metabolism even before the appearance of visual morphological signs. Research into the effect of modern biological products on the activity of key enzymes is a fundamental task for the development of highly efficient and environmentally safe technologies for growing agricultural crops.

It was found that the use of the herbicide Rinidi, u.g. causes a two-phase reaction of the antioxidant enzyme system of corn plants: primary mobilization of protective enzymes on the 3rd day and their subsequent depletion by the 10th day. In the experimental variants using only the herbicide without the biological product, this manifests itself in a critical drop in catalase activity by 30% relative to the initial surge, accompanied by a steady increase in the level of peroxidase and polyphenol oxidase. This imbalance indicates a transition of oxidative stress to a chronic phase, the intensity of which is directly proportional to the rate of herbicide application.

The inclusion of the Egrow biological product in the tank mixture to a certain extent neutralizes the phytotoxic effect of the herbicide, transforming the direction of protective reactions from destruction to repair. The biological agent provides long-term stabilization of catalase activity and accelerated normalization of the level of other oxidative enzymes. Thus, the addition of the Egrow biological product to the tank mixture is an effective mechanism for greening intensive crop production, as it allows maintaining the physiological stability of the agroecosystem and minimizing the negative effects of pesticide load on the environment.

Key words: greening, enzymes, catalase, peroxidase, polyphenol oxidase, activity, Rinidi, Egrow.

Вступ

Сучасний розвиток світового агропромислового комплексу базується на принципах сталого розвитку та інтенсивної екологізації технологічних процесів, адже довготривале використання синтетичних мінеральних добрив та пестицидів різного спектру дії призвело до змін біологічної рівноваги в агроєкосистемах. Ці зміни, у свою чергу, викликають зниження природної родючості ґрунтів та погіршення адаптивного потенціалу культурних рослин, закладених природою та селекцією. Тому запровадження елементів екологізації технологій вирощування польових культур і, у перспективі, перехід до повної екологізації рослинництва розглядається не просто як альтернатива, а як стратегічна необхідність для забезпечення продовольчої безпеки (Амонс і Красняк, 2023; Ortega et al., 2024).

Поряд з цим, зростаючий вплив різноманітних абіотичних стресових чинників на продуктивність сільськогосподарських культур вимагає інноваційних стратегій для забезпечення сталого розвитку аграр-

ного виробництва. Перспективність застосування біологічних препаратів різного походження полягає у пом'якшенні негативного впливу абіотичних чинників на сільськогосподарські культури. Біоагенти, починаючи від простих органічних сполук і закінчуючи складними живими мікроорганізмами, демонструють значний потенціал у підвищенні стійкості рослин, толерантності до стресу та загальної продуктивності (Alharby et al., 2020; Bhupenchandra et al., 2022; Di Sario et al., 2025).

Крім цього, інтеграція у технології вирощування польових культур біологічних препаратів, як елементів екологізації, є ключовим інструментом мінімізації антропогенного впливу на довкілля. Використання різноманітних біоагентів, зокрема й мікробних консорціумів, дає змогу відновити екологічний баланс агроєколандшафтів. Біопрепарати відіграють роль «м'яких» рістрегуляторів, які замість безпосереднього впливу чи штучного стимулювання росту активізують внутрішній генетичний та фізіологічний потенціал самої рослини (Rouphael & Colla, 2020; Vassileva et al., 2020).

Важливість біологічних препаратів також зумовлена необхідністю відновлення мікробіому ризосфери, який виступає посередником між ґрунтом та рослинним організмом ризосфери, адже біологізація вирощування сільськогосподарських культур сприяє регенерації ґрунтової біоти, що безпосередньо впливає на активність ензимів рослин через сигнальні системи Quorum Sensing. Це створює замкнений цикл саморегуляції, де біопрепарати виступають тригером для запуску системної стійкості та оптимізації метаболізму поживних речовин (Khan et al., 2019; Ozhuner, 2025).

Провідне місце в оцінці ефективності впливу різноманітних біоагентів посідає вивчення ензиматичного апарату рослини. Відомо, що ферментативна активність виступає найшвидшим і найбільш точним біомаркером фізіологічного стану рослинного організму, відображаючи зміни в обміні речовин ще до появи візуальних морфологічних ознак. Дослідження впливу сучасних біопрепаратів на активність ключових ферментів є фундаментальним завданням для розробки високоефективних та екологічно безпечних технологій вирощування сільськогосподарських культур. Встановлено, що біопрепарати, зокрема мікробіологічного походження, підвищують активність супероксиддисмутази (SOD) та каталази (CAT), що дозволяє рослинам ефективно нейтралізувати активні форми кисню за дії різноманітних стресових чинників (Mahmudul et al., 2021; Nan et al., 2025).

Відомо, що одним із механізмів захисту рослинних клітин є функціонування антиоксидантної системи за участі ферментативних та неферментативних компонентів, які підтримують окисний гомеостаз. Додаткове утворення АФК за умов дії різних стресових чинників посилює вплив прооксидантної ланки у житті рослин (Россихіна-Галича та ін., 2013).

Вітчизняними дослідниками при вивченні фізіолого-біохімічних механізмів інтегрованої дії хімічних стресорів і біопрепаратів встановлено, що із збільшенням норм застосування гербіцидів без біопрепаратів у рослинах ячменю ярого на 3-тю добу простежується інтенсифікація генерування активних форм кисню (АФК), що сприяє розвитку у рослин оксидативного стресу, наслідком якого є підвищений рівень пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ). На 10-ту добу після внесення препаратів рівень ПОЛ у рослинах ячменю ярого продовжував зростати, що

пов'язано з активізацією ростових та обмінних процесів, невід'ємним продуктом яких є АФК. Проте у варіантах досліду, де гербіциди застосовували сумісно з біопрепаратом, рівень ПОЛ за визначення на 10-ту добу знижувався порівняно з варіантами досліду без біоагента. Дослідники стверджують, що за сумісного внесення гербіцидів і біопрепаратів відбувається активізація антиоксидантних систем захисту рослинного організму, завдяки яким знижується негативний вплив на клітини продуктів метаболізму гербіцидів (Карпенко та ін., 2016).

Іншими дослідженнями встановлено, що активність ферменту глутатіон-S-трансферази (GST) зростає у відповідь на застосування гербіциду, що є частиною захисної системи рослини, спрямованої на детоксикацію токсичних сполук та нейтралізацію активних форм кисню. Проте за умов комплексного застосування препаратів (гербіцид + біопрепарат, особливо на фоні передпосівної обробки) спостерігається зниження активності GST на 10-й день, що свідчить про стабілізацію процесів детоксикації та зменшення рівня окислювального стресу (зниження вмісту MDA). Автори також зазначають, що відповідно до отриманих результатів їх досліджень, комплексна дія хімічного стресора та біоагента також підвищує активність інших антиоксидантних ферментів, таких як пероксидаза та каталаза на 19–33%), що підтверджує загальну активізацію системи захисту рослин за використання біопрепаратів на фоні впливу стресового чинника (Karpenko et al., 2019).

Дослідженнями, проведеними на рослинах вівса голозерного, виявлено, що найвищу активність каталази у листках культури було відмічено за використання для передпосівної обробки насіння суміші біологічних препаратів Меланоріз та Агролайт за наступного обприскування рослин Агролайтом, що забезпечило підвищення активності даного ферменту на 31–48% відповідно до варіантів із окремим внесенням Меланорізу. Стосовно пероксидази та поліфенолоксидази, то відмічено аналогічну залежність їх активності від норм та способів застосування біоагентів. Зростання активності досліджуваних антиоксидантних ферментів за комплексного застосування біопрепаратів є наслідком покращення умов росту й розвитку культури, за яких зростає активність обмінних процесів у рослинах, головною складовою яких виступають саме фер-

менти. Поряд з цим, зростання активності окисно-відновних ферментів може засвідчувати пряму дію досліджуваних біоагентів на стан антиоксидантної системи культури, яка активується у відповідь на вплив екзогенних складових препаратів, які володіють рістстимулювальною здатністю (Карпенко & Марченко, 2020).

Зважаючи на вищенаведене, завданням досліджень було виявити зміни у активності ключових ферментів класу оксидоредуктаз, що входять до складу антиоксидантних систем рослинного організму.

Матеріал і методи

Дослідження з цієї тематики проводили впродовж 2024–2025 рр. у польових та лабораторних умовах кафедри біології Уманського НУ. Об'єктом дослідження став гібрид кукурудзи Амарок 290.

Схема досліду включала контроль – обробка вегетуючих рослин водою (200 л/га), варіанти із застосуванням гербіциду Рініді, в.г. у нормах 250, 350 і 450 г/га як окремо, так і у баковій суміші з регулятором росту Egrow (0,5 л/га). Обробку рослин по вегетації виконували у фазі 3–5 листків розвитку культури з витратою робочого розчину 200 л/га, повторність досліду – чотириразова із систематичним розміщенням варіантів.

Схема досліду: 1. Контроль (обробка водою); 2. Рініді, в.г. 250 г/га; 3. Рініді, в.г. 350 г/га; 4. Рініді, в.г. 450 г/га; 5. Рініді, в.г. 250 г/га + Egrow 0,5 л/га; 6. Рініді, в.г. 350 г/га + Egrow 0,5 л/га; 7. Рініді, в.г. 450 г/га + Egrow 0,5 л/га.

Ґрунт дослідного поля: чорнозем опідзолений (гумус – 3,5 %, рН – 6,2). Забезпеченість рухомим фосфором (88 мг/кг) та калієм (132 мг/кг) – за методом Чирикова; легкогідролізованим азотом (103 мг/кг) – за Корнфілдом. Активність каталази (КАТ, КФ 1.11.1.6), мкМоль розкладеного H_2O_2 /г сирої речовини за 1 хв; пероксидази (ПОД, КФ 1.11.1.7) мкМоль окисненого гваяколу/г сирої речовини за 1 хв. та поліфенолоксидази (ПФО, КФ 1.14.18.1) мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирої речовини за 1 хв. визначали у відповідності до методик, описаних Ю. Г. Приседським (Приседський, 2022). З метою оцінки впливу гербіциду та регулятора росту на формування активності антиоксидантних ферментів використано однофакторний дисперсійний аналіз. Статистичні розрахунки виконувалися з використанням пакету статистичного аналізу програмного забезпечення MS Excel.

Результати

Аналіз динаміки ферментативної активності свідчить, що внесення норм гербіциду Рініді, в.г. спричиняє розвиток системного оксидативного стресу, інтенсивність якого перебуває у прямій залежності від норми препарату та тривалості експозиції. Так, на 3-тю добу після обприскування посівів кукурудзи спостерігається фаза первинної мобілізації, що характеризується синхронним зростанням активності всіх досліджуваних ферментів. За використання мінімальної норми гербіциду у 250 г/га активність каталази зростає до 96,2 мкМоль (+19,8% до контролю), пероксидази – до 133,3 мкМоль (+18,7% до контролю), а поліфенолоксидази – до 23,6 мкМоль (+16,3% до контролю) (рис. 1).

Зі збільшенням норми гербіциду до 350 г/га активність каталази сягає 100,3 мкМоль, а пероксидази – 141,6 мкМоль. Максимальна інтенсивність захисних реакцій зафіксована при нормі Рініді, в.г. у 450 г/га, де показники ферментної активності зросли на 31,1–36,6% порівняно з контролем залежно від ферменту. Такий сплеск є класичною реакцією так званої «термінової адаптації», спрямованої на нейтралізацію пероксиду водню (H_2O_2) та детоксикацію ксенобіотиків.

На 10-ту добу у варіантах досліду із застосуванням лише гербіциду зміна ферментативної активності засвідчує, що спрямованість біохімічних процесів радикально змінюється і вказує на виснаження захисних ресурсів, якими в першу чергу виступає фермент каталаза. Так, зокрема, при нормі гербіциду у 250 г/га активність каталази знижується до 88,4 мкМоль, що на 8,1% менше за її показник на 3-тю добу (рис. 2).

При нормі у 350 г/га активність ферменту наближається до рівня контролю – (80,1 мкМоль, а за максимальної норми у 450 г/га сягає критичної позначки у 72,2 мкМоль, що на 10,1% нижче за контроль. Поряд з цим активність пероксидази демонструє тенденцію до зростання від 148,2 мкМоль (250 г/га гербіциду) до пікових 185,1 мкМоль (450 г/га гербіциду), що на 73,4% перевищує контрольний варіант досліду. Аналогічна тенденція спостерігається і при визначенні активності поліфенолоксидази, активність якої зростає до 35,6 мкМоль (+89,2% до контролю). Це може свідчити про перехід стресової дії гербіциду до хронічної фази, коли за рахунок зростання активності пероксидази рослинний організм намагається компен-

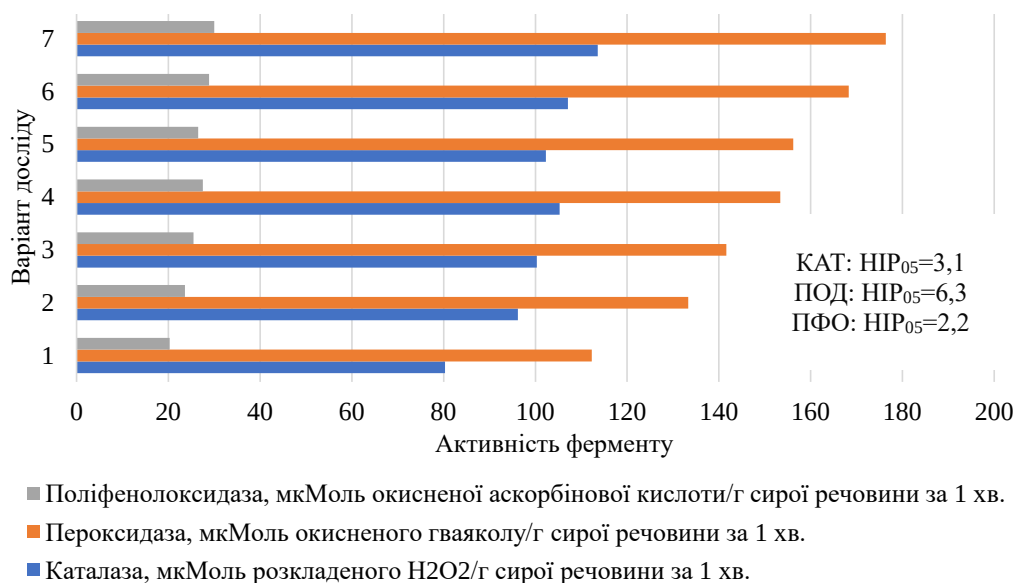


Рис. 1. Зміна активності антиоксидантних ферментів у листках кукурудзи на 10-ту добу після внесення гербіциду Рініді, в.г. та біопрепарату Egrow (2024-2025 рр.)

Примітка: 1. Контроль (обробка водою); 2. Рініді, в.г. 250 г/га; 3. Рініді, в.г. 350 г/га; 4. Рініді, в.г. 450 г/га; 5. Рініді, в.г. 250 г/га + Egrow 0,5 л/га; 6. Рініді, в.г. 350 г/га + Egrow 0,5 л/га; 7. Рініді, в.г. 450 г/га + Egrow 0,5 л/га

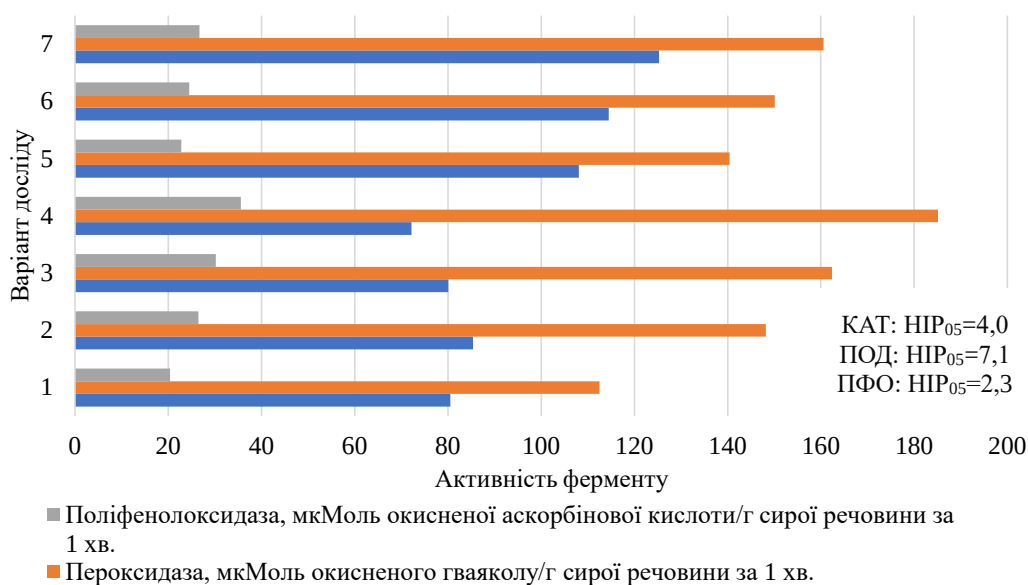


Рис. 2. Зміна активності антиоксидантних ферментів у листках кукурудзи на 10-ту добу після внесення гербіциду Рініді, в.г. та біопрепарату Egrow (2024-2025 рр.)

Примітка: 1. Контроль (обробка водою); 2. Рініді, в.г. 250 г/га; 3. Рініді, в.г. 350 г/га; 4. Рініді, в.г. 450 г/га; 5. Рініді, в.г. 250 г/га + Egrow 0,5 л/га; 6. Рініді, в.г. 350 г/га + Egrow 0,5 л/га; 7. Рініді, в.г. 450 г/га + Egrow 0,5 л/га

сувати дефіцит каталази, що супроводжується посиленням процесів перекисного окиснення ліпідів та деструкцією мембран. Подібні зміни у активності антиоксидантних ферментів відмічено також й іншими дослідженнями (Li et al., 2025)

За умови сумісного застосування гербіциду з біопрепаратом Egrow характер адаптаційних процесів істотно змінюється, набуваючи ознак відновлення. Вже на 3-тю добу біоагент забезпечує вищий рівень енергетичної мобілізації, що сприяє зростанню

активності каталази за сумісного внесення препаратів на 6,1–8,3% більше, ніж при внесенні аналогічних норм гербіциду без стимулятора росту. Найбільш показовою є динаміка на 10-ту добу. У варіанті досліду Рініді, в.г. 250 г/га + Egrow 0,5 л/га активність каталази зростає до 108,1 мкМоль, перевищуючи чистий гербіцидний фон у цій же нормі на 22,3%. За внесення Рініді, в.г. 350 г/га + Egrow 0,5 л/га цей показник складає 114,5 мкМоль. Максимальний антистресовий ефект зафіксовано при поєднанні 450 г/га гербіциду з біоагентом, тут активність каталази стабільно зростає до 125,3 мкМоль, що на 51,9% вище за контроль та на 73,5% перевищує показник дії цієї ж норми гербіциду без стимулятора.

Паралельно з посиленням каталазного захисту спостерігається нормалізація показників інших антиоксидантних ферментів. У всіх варіантах досліду із застосуванням гербіциду сумісно з біоагентом Egrow активність пероксидази на 10-ту добу є суттєво нижчою за показники 3-ї доби: від 140,4 мкМоль при застосуванні 250 г/га Рініді, в.г. до 160,6 мкМоль – при внесенні 450 г/га, що в середньому на 10,1–15,4% менше порівняно з фазою первинного шоку на 3-тю добу після внесення. Активність поліфенолоксидази також демонструє тенденцію зниження до 22,8–26,7 мкМоль.

Обговорення

Отримані результати дослідження свідчать про дію біопрепарату Egrow у якості метаболічного протектора, який сприяє пришвидшенню детоксикації ксенобіотика, яким у даному дослідженні є гербіцид, тим самим запобігаючи накопиченню у рослинному організмі надлишку кисневих радикалів. Таким чином, використання досліджуваного біопрепарату дає змогу спрямувати метаболізм рослини, до керованої фізіологічної адаптації, яка мінімізує пестицидний тиск на навколишнє середовище та є фундаментальним аспектом екологізації сучасного землеробства. Аналогічний вплив біологічних препаратів спостерігався й в інших дослідженнях (Hasanuzzaman et al., 2020)

Висновки

Отже, застосування гербіциду Рініді, в.г. викликає своєрідну реакцію антиоксидантної ферментної системи рослин кукурудзи: спочатку, на 3-тю добу після внесення препаратів, спостерігається мобілізація захисних ферментних систем, а на 10-ту добу спостерігається певне вичерпання їх активності. У варіантах досліду із застосуванням лише гербіциду без біопрепарату це проявляється у падінні активності каталази на 30% стосовно початкового зростання на фоні зростання рівня пероксидази та поліфенолоксидази. Це свідчить про перехід оксидативного стресу у хронічну фазу, інтенсивність якої прямо пропорційна нормі внесення гербіциду.

Включення до бакової суміші біопрепарату Egrow певною мірою пом'якшує фітотоксичний вплив гербіциду, трансформуючи напрям захисних реакцій від руйнування до відновлення. Біопрепарат забезпечує стійку стабілізацію каталазної активності та прискорену нормалізацію активності інших окиснювальних ферментів. Таким чином, введення до бакової суміші біопрепарату Egrow є ефективним механізмом екологізації інтенсивного рослинництва, оскільки дає змогу підтримувати фізіологічну стійкість агроєкоценозу та мінімізувати негативні наслідки пестицидного навантаження на довкілля.

Вивчення реакцій рослинного організму на гербіцидний стрес є перспективними, оскільки антиоксидантні системи рослин містять не лише каталазу, пероксидазу і поліфенолоксидазу, у їх функціонуванні важливу роль відіграють також супероксиддисмутаза, низькомолекулярні антиоксиданти, зокрема аскорбат, глутатіон, каротиноїди. Також важливе значення у детоксикації гербіцидів має глутатіон-S-трансфераза, що каталізує кон'югацію ксенобіотиків із відновленим глутатіоном. Активність цих компонентів визначає здатність рослини ефективно долати оксидативний стрес та зберігати фізіологічну рівновагу. Тому вивчення активності вказаних компонентів антиоксидантних систем є метою подальших досліджень.

Список використаної літератури

Амонс С., Красняк О. Екологізація аграрного виробництва як основа формування системи продовольчої безпеки України. *Економіка та суспільство*. 2023. №5. С. 48–53. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-47-41>.

Карпенко В. П., Марченко К. Ю. Активність антиоксидантних ферментів у рослинах вівса голозерного за дії мікробного препарату і регулятора росту рослин. *Збірник наукових праць Уманського НУ*. 2020. Випуск 96. Ч. 1. С. 9–23. <https://doi.org/10.31395/2415-8240-2020-96-1-9-23>

Карпенко В. П., Притуляк Р. М., Даценко А. А., Івасюк Ю. І. Фізіолого-біохімічні механізми інтегрованої дії гербіцидів і регуляторів росту рослин. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2016. №1. С. 72–75.

Приседський Ю. Г. Великий практикум з фізіології та біохімії рослин (біохімічні методи досліджень). Вінниця: «ТВОРИ». 2022. 418 с.

Россихіна-Галича Г. С., Більчук В. С., Легостаєва Т. В., Шмагайло Ю. О. Дослідження стану прооксидантно-антиоксидантної системи кукурудзи за дії гербіцидного забруднення. *Вісник Львівського університету*. 2013. № 61. С. 201–207.

Alharby H. F., Alzahrani Y. M., Rady M. M. Seeds pretreatment with zeatins or maize grain-derived organic biostimulant improved hormonal contents, polyamine gene expression, and salinity and drought tolerance of wheat. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2020. №24. P. 714–724. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1491>

Bhupenchandra I., Chongtham S. K., Devi E. L., Choudhary A. K., Salam, M.D., Sahoo M. R., Khaba, C. I. Role of biostimulants in mitigating the effects of climate change on crop performance. *Frontiers in plant science*. 2022. №13. P. 967665. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.967665>

Di Sario L., Boeri P., Matus J. T., Pizzio G. A. Plant biostimulants to enhance abiotic stress resilience in crops. *International Journal of Molecular Sciences (IJMS)*. 2025. №26(3). P. 1129. <https://doi.org/10.3390/ijms26031129>.

Han L., Li Y., Li Z. M. B., Liang Y., Gao P., Zhao X. Alleviation of saline-alkaline stress in alfalfa by a consortium of plant-growth-promoting rhizobacteria. *Plants*. 2025. №14(17). P. 2744. <https://doi.org/10.3390/plants14172744>

Hasanuzzaman M., Borhannuddin Bhuyan M. H. M., Zulfiqar F., Raza, A., Mohsin, S. M., Al Mahmud J., Fujita M., Fotopoulos V. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*. 2020. №9(8). P. 681. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>

Li J., Qin Z., Wang L., Xin M. Advances in the metabolism and phytoremediation of pesticides in horticultural plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2025. №302. P. 118634. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118634>

Karpenko V., Pavlyshyn S., Prytuliak R., Naherniuk D. Content of malondialdehyde and activity of enzyme glutathione-S-transferase in the leaves of emmer wheat under the action of herbicide and plant growth regulator. *Agronomy Research*. 2019. №17(1). P. 144–154. <https://doi.org/10.15159/AR.19.014>

Khan M., Bhargava P., Goel R. Quorum sensing molecules of rhizobacteria: a trigger for developing systemic resistance in plants. *PGPR: Genetic Adaptation and Recent Advances*. 2019. P. 117–138. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6536-2_7

Mahmudul H., Muhammad S. A.-H., Adam M. R., Hafizuddin H. Bioherbicides: an eco-friendly tool for sustainable weed management. *Plants*. 2021. №10(6). P. 1212. <https://doi.org/10.3390/plants10061212>

Ortega R., Miralles I., Domene M. A., Meca D., del Moral F. Ecological practices increase soil fertility and microbial diversity under intensive farming. *Science of the total environment*. 2024. №954. P. 176777. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176777>

Ozhuner E. Plant growth-promoting rhizobacteria enhance essential oil production and antioxidant activity of *Mentha piperita* under water deficit stress. *Agricultural Water Management*. 2025. №321. P. 109936. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109936>

Rouphael Y., Colla G. Biostimulants in agriculture. *Frontiers in plant science*. 2020. №11. P. 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>

Vassileva M., Flor-Peregrin E., Malusá E., Vassilev N. Towards better understanding of the interactions and efficient application of plant beneficial prebiotics, probiotics, postbiotics and synbiotics. *Frontiers in plant science*. 2020. №11. P. 01068. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01068>

References

Amons, S. & Krasniak, O. (2023). Ekologizatsiia aharnoho vyrobnytstva yak osnova formuvannia systemy prodovolchoi bezpeky Ukrainy [Ecologization of agricultural production as the basis of the formation of the food security system of Ukraine]. *Ekonomika ta suspilstvo [Economy and society]*, 5, 48–53. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-47-41> [in Ukrainian].

Karpenko, V. P. & Marchenko, K. Yu. (2020). Aktyvnist antyoksydantnykh fermentiv u roslynakh vivsa holozernoho za dii mikrobnoho preparatu i rehuliatora rostu roslyn [The activity of antioxidant

enzymes in the plants of hulless oat under the use of a microbial preparation and plant growth regulator]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho NU [Collected Works of Uman National University]*. пуск 96. Ч. 1. С. 9–23. <https://doi.org/10.31395/2415-8240-2020-96-1-9-23> [in Ukrainian].

Karpenko, V. P., Prytuliak, R. M., Datsenko, A. A. & Ivasiuk Yu. I. (2016). Fiziolo-ho-biokhimichni mekhanizmy intehrovanoi dii herbitsydiv i rehuliatoriv rostu roslyn [Physiological and biochemical integrated action mechanisms of herbicide and plant growth regulator]. *Visnyk Umanskoho natsionalnogo universytetu sadivnytstva [Bulletin of Uman National University of Horticulture]*, 1, 72–75 [in Ukrainian].

Pryedsnyi, Yu. H. (2022). Velykyi praktykum z fiziologii ta biokhimii roslyn (biokhimichni metody doslidzhen) [Large practical course on plant physiology and biochemistry (biochemical research methods)]. Vinnytsia: «TVORY», 418 c [in Ukrainian].

Rossykhina-Halycha, H. S., Bilchuk, V. S., Lehostaieva, T. V. & Shmahailo Yu. O. (2013). Doslidzhennia stanu prooksydantno-antyoksydantnoi systemy kukurudzy za dii herbitsydnogo zabrudnennia [Antioxidant system of maize under herbicide pollution influence]. *Visnyk Lvivskoho universytetu [Visnyk of Lviv University]*, 61, 201–207 [in Ukrainian].

Alharby, H. F. Alzahrani, Y. M. & Rady, M. M. (2020). Seeds pretreatment with zeatins or maize grain-derived organic biostimulant improved hormonal contents, polyamine gene expression, and salinity and drought tolerance of wheat. *International Journal of Agriculture and Biology*, 24, 714–724. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1491> [in English].

Bhupenchandra, I., Chongtham, S. K., Devi E. L., Choudhary A. K., Salam, M.D., Sahoo M.R. & Khaba, C. I. (2022). Role of biostimulants in mitigating the effects of climate change on crop performance. *Frontiers in plant science*, 13, 967665. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.967665> [in English].

Di Sario, L., Boeri, P., Matus, J. T. & Pizzio G. A. (2025). Plant biostimulants to enhance abiotic stress resilience in crops. *International Journal of Molecular Sciences (IJMS)*, 26(3), 1129. <https://doi.org/10.3390/ijms26031129> [in English].

Han, L., Li, Y., Li, Z. M. B., Liang, Y., Gao, P. & Zhao, X. (2025). Alleviation of saline-alkaline stress in alfalfa by a consortium of plant-growth-promoting rhizobacteria. *Plants*, 14(17), 2744. <https://doi.org/10.3390/plants14172744> [in English].

Hasanuzzaman, M., Borhannuddin Bhuyan, M. H. M., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Al Mahmud J., Fujita M. & Fotopoulos V. (2020). Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*, 9(8), 681. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681> [in English].

Li, J., Qin, Z., Wang, L. & Xin, M. (2025). Advances in the metabolism and phytoremediation of pesticides in horticultural plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 302, 118634. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118634> [in English].

Karpenko, V., Pavlyshyn, S., Prytuliak, R. & Naharniuk, D. (2019). *Agronomy Research*, 17(1), 144–154. <https://doi.org/10.15159/AR.19.014> [in English].

Khan, M., Bhargava, P. & Goel R. (2019). Quorum sensing molecules of rhizobacteria: a trigger for developing systemic resistance in plants. PGPR: Genetic Adaptation and Recent Advances, 117–138. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6536-2_7 [in English].

Mahmudul, H., Muhammad, S. A.-H., Adam, M. R. & Hafizuddin, H. (2021). Bioherbicides: an eco-friendly tool for sustainable weed management. *Plants*, 10(6), 1212. <https://doi.org/10.3390/plants10061212> [in English].

Ortega, R., Miralles, I., Domene, M. A., Meca, D. & del Moral, F. (2024). Ecological practices increase soil fertility and microbial diversity under intensive farming. *Science of the total environment*, 954, 176777. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176777> [in English].

Ozhuner, E. (2025). Plant growth-promoting rhizobacteria enhance essential oil production and antioxidant activity of *Mentha piperita* under water deficit stress. *Agricultural Water Management*, 321, 109936. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109936> [in English].

Rouphael, Y. & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in plant science*, 11, 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040> [in English].

Vassileva, M., Flor-Peregrin, E., Malusá, E. & Vassilev, N. (2020). Towards better understanding of the interactions and efficient application of plant beneficial prebiotics, probiotics, postbiotics and synbiotics. *Frontiers in plant science*, 11, 01068. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01068> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 06.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 09.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



УДК 612.8; 612.821
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.4>

АНАЛІЗ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОЇ АДАПТАЦІЇ ДО НАВЧАННЯ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

К. Г. Коваль¹, С. М. Хоменко², Л. І. Юхименко³

У дослідженні проведено комплексний аналіз психофізіологічної адаптації (ПА) до навчання в умовах воєнного стану як екстремальної ситуації у 86 практично здорових студентів 17–28 років чоловічої статі спортивних та неспортивних спеціальностей Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Для діагностики ПА використовували авторську комп'ютерну програму "Інтегральна оцінка психофізіологічної адаптації людини" (КП ІОПАЛ), яка автоматично обробляла комплекс психофізіологічних показників функціонування організму та забезпечувала їх інтегральну оцінку. Виявлено достовірні відмінності рівнів ПА за психофізіологічними показниками реактивної тривожності (РТ), систолічного артеріального тиску (САТ), частоти серцевих скорочень (ЧСС), вестибулярної функції (ВФ) та теплінг-тесту (ТТ) між студентами спортивних і неспортивних спеціальностей. Встановлено кореляцію між рівнем ПА та тривожністю, ЧСС та артеріальним тиском (АТ). Серед студентів неспортивних спеціальностей виявлено значно більшу частку осіб з низьким рівнем ПА, що корелював із підвищеною тривожністю ($p < 0.01$), ЧСС і АТ ($p < 0.05$) та низькими показниками ВФ і психоемоційного сприйняття ($p < 0.05$), що підтверджувало роль психоемоційного та вегетативного компонентів адаптації в умовах хронічного стресу та вказувало на підвищений ризик дезадаптації. Предикторами оптимальної ПА визначені показники ЧСС, АТ та РТ. Спостерігалася статистично значима різниця у психофізіологічних показниках між досліджуваними групами обстежуваних ($p < 0.01$). Низька ПА у студентів неспортивних спеціальностей асоціювалася з порушеннями харчування, сну та низькою фізичною активністю. Натомість особи з високою ПА демонстрували ефективні стратегії подолання стресу. На основі отриманих результатів розроблено практичні алгоритми скринінгу ПА та інтервенції, які можуть бути корисними для охорони здоров'я здобувачів вищої освіти та корекції їх ПА.

Ключові слова: психофізіологічна адаптація (ПА), здобувачі вищої освіти, воєнний стан, кореляційний аналіз, спортивні спеціальності, навчальний процес, екстремальна ситуація, тривожність.

¹ аспірантка кафедри анатомії, фізіології та фізичної реабілітації
(Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, м. Черкаси)
e-mail: kolybri.777@gmail.com
ORCID: 0009-0003-2920-2343

² кандидат біологічних наук, доцент кафедри анатомії, фізіології та фізичної реабілітації
(Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, м. Черкаси)
e-mail: skhomenko@ukr.net
ORCID: 0000-0003-0918-8735

³ докторка біологічних наук,
професорка кафедри анатомії, фізіології та фізичної реабілітації
(Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, м. Черкаси)
e-mail: liyukhimenko@ukr.net
ORCID: 0000-0002-4455-6233

ANALYSIS OF UKRAINIAN HIGHER EDUCATION STUDENTS' PSYCHOPHYSIOLOGICAL ADAPTATION TO LEARNING UNDER CONDITIONS OF MARTIAL LAW

K. H. Koval, S. M. Khomenko, L. I. Yukhymenko

A comprehensive analysis of psychophysiological adaptation (PA) to learning under martial law as an extreme situation was conducted in 86 practically healthy male students aged 17–28 years from sports and non-sports specialties at Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy. For the diagnosis of PA, the author's computer programme entitled "Integral Assessment of Human Psychophysiological Adaptation" (CP IAHPA) was used. The programme automatically processed a complex of psychophysiological indicators of bodily functioning and provided their integral assessment. Significant differences in PA levels were identified according to the psychophysiological indicators of reactive anxiety (RA), systolic blood pressure (SBP), heart rate (HR), vestibular function (VF), and the tapping test (TT) between students of sports and non-sports specialties. A correlation was established between the level of PA and anxiety, HR, and blood pressure (BP). Among students of non-sports specialties, a significantly higher proportion of individuals with low levels of PA was identified, which correlated with increased anxiety ($p < 0.01$), HR and BP ($p < 0.05$) and low scores for physical fitness and psycho-emotional perception ($p < 0.05$), which confirmed the role of psycho-emotional and autonomic components of adaptation under conditions of chronic stress and indicated an increased risk of maladaptation. HR, BP, and RA were identified as predictors of optimal PA. A statistically significant difference in psychophysiological indicators was observed between the study groups ($p < 0.01$). Low PA among students of non-sports specialties degree programmes was associated with poor eating habits, sleep disturbances and low physical activity. In contrast, individuals with high PA demonstrated effective stress-coping strategies. Based on the results obtained, practical algorithms for PA screening and intervention were developed, which may prove useful for safeguarding the health of higher education students and for optimising their psychophysiological adaptation.

Key words: psychophysiological adaptation (PA), student youth, martial law, correlation analysis, sports specialties, educational process, extreme situation, anxiety.

Вступ

Здобуття вищої освіти в умовах воєнного стану, як екстремальної ситуації в Україні, характеризується хронічним стресом, високою інтенсивністю навчального процесу та значними психічними і фізіологічними навантаженнями (Юхименко та ін., 2024; Restrepo et al., 2023; Хоменко і Шевчук, 2023). Адаптація до навчання залишається критичною проблемою студентства. Висока психофізіологічна адаптація (ПА) є індикатором пристосованості до стресорів та динамічного балансування функцій організму (Юхименко та ін., 2024; Restrepo et al., 2023).

Інтенсивність освітнього процесу та часті стресові ситуації (заліки, іспити, контрольні роботи тощо) призводять до порушень психоемоційного стану студентів, зниження навчальної ефективності та підвищення ризику психосоматичних захворювань (Boltivets et al., 2025; Kasap & Kurt, 2025). Воєнний стан – важка екстремальна ситуація з загрозами для здоров'я. Важливими факторами впливу є також переїзд до іншого міста на період здобування вищої освіти, самостійність у рішеннях, нові умови існування, відповідальність за успішність нав-

чання (Yukhymenko, 2020; Nele et al., 2019; Yukhymenko & Pustovit, 2021).

Автори наголошують, що хронічні або багаторазові стресові впливи є потужними активаторами симпато-адреналової системи, яка може провокувати розвиток дисфункцій пам'яті, коливання концентрації уваги, ускладнення когнітивної діяльності, нестійкий сон, зниження емоційної стабільності, що є критичними компонентами успішності навчання (Юхименко та ін., 2024; Хоменко і Шевчук, 2023; Boltivets et al., 2025; Коваль та ін., 2024; Raccanello et al., 2024). Для оцінки ПА дослідники все частіше звертаються до проведення комплексних досліджень психометричних, соматичних, функціональних та інших показників, що сприяє отриманню більш вичерпної інформації про пристосувальні можливості організму, ніж будь-яка окремо взята характеристика (Бишевец і Голованова, 2024; Массанов, 2025). Серед провідних медіаторів нейтралізації стресового впливу на функціональний стан студентства науковці називають надання соціальної підтримки, розвинення навичок емоційної саморегуляції, турботи про ментальне здоров'я тощо (Юхименко та ін., 2024; Boltivets et al., 2025;

Шинкарук та ін., 2017; Gerber et al., 2020; Cellini et al. 2023; Byshevets et al., 2024).

Сучасні вітчизняні науковці (А. Юхименко, С. Хоменко, О. Шинкарук та ін.) повідомляють про критичний вплив навчального стресу на працездатність та результативність навчання, обґрунтовуючи необхідність регулярного моніторингу адаптаційних резервів організму студентів (Юхименко та ін., 2024; Хоменко і Шевчук, 2023). Актуальними залишаються: вивчення ролі психофізіологічних функцій у пристосуванні, особливості тривожності під час напруженої діяльності, взаємозв'язок між психічними властивостями, фізичним розвитком та академічною успішністю в екстремальних ситуаціях (Шинкарук та ін., 2017; Gerber et al., 2020; Yukhymenko & Pustovit, 2021; Хоменко і Шевчук, 2023; Юхименко та ін., 2024; Boltivets et al., 2025).

ПА трактують як динамічний процес поступового пристосування організму до умов життєдіяльності та навчання з модифікацією фізіологічних, психічних та поведінкових реакцій. Сучасні уявлення про адаптаційні процеси охоплюють три ієрархічні механізми: швидкі реакції (симпатична активація, зміни ЧСС / АТ), проміжні трансформації (нейроендокринні та імунні відповіді) та довготривалі переструктуризації (нейропластичність, метаболічні зміни). Актуальною проблемою залишається виявлення ранніх маркерів дезадаптаційних розладів на донозологічному етапі для можливості своєчасної профілактики та превенції (Юхименко та ін., 2024; Boltivets et al., 2025; Коваль та ін., 2024; Коваль, 2025).

Адаптація українського студентства відбувається під впливом чисельних стресорів воєнного стану та необхідності професійного самовизначення. Високе академічне навантаження нашаровується на хронічний стрес, пред'являючи високі вимоги до психофізіологічної стійкості (Yukhymenko, 2020; Yukhymenko & Pustovit, 2021; Raccanello et al., 2024). Аналогічна проблема стосується спортсменів, які комбінують навчання з інтенсивними тренуваннями у умовах воєнного стану (Шинкарук та ін., 2017; Gerber et al., 2020). Розробка інструментів скринінгу та програм психофізіологічного моніторингу залишається першорядним завданням.

Метою дослідження було здійснити комплексний порівняльний аналіз психофізіологічної адаптації здобувачів вищої освіти спортивних і неспортивних спеціальностей

теї у процесі навчання в умовах воєнного стану.

У даному дослідженні вирішувались наступні завдання:

- описати та оцінити динаміку комплексу психофізіологічних показників (тривожність, серцево-судинні та сенсомоторні функції) за допомогою авторської КП ІОПАЛ);
- описати рівень ПА обстежуваних різних груп;
- проаналізувати вплив поведінкових чинників (сон, харчування, фізична активність) на адаптацію;
- кластеризувати показники за профілями ризику;
- розробити практичні рекомендації для оптимізації ПА студентства.

Матеріал і методи

У дослідженні взяли участь 86 практично здорових студентів Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького (17–28 років, чоловіки): 43 особи спортивних та 43 неспортивних спеціальностей. Усі обстежувані за станом здоров'я були абсолютно здоровими та не мали діагностованих хронічних захворювань. З метою збереження чистоти дослідження та виключення можливих впливів гормональних змін місячного циклу на результати, обстежуваними були лише особи чоловічої статі. Критерії виключення: наявність психіатричних розладів, прийом психоактивних речовин, травми та оперативні втручання протягом останніх 6 місяців.

Дослідження проведено у 2024–2025 рр. відповідно до Гельсінської декларації (1975, 1996–2013). Учасники підписали інформовану згоду. Дані використовувалися з науковою метою на умовах анонімності.

Здійснювали психофізіологічне тестування комп'ютерною програмою (КП) ІОПАЛ (Комп'ютерна програма «Інтегральна оцінка психофізіологічної адаптації людини»: свідоцтво про реєстрацію авторського права № 139404, 2025). Визначали показники реактивної (РТ) та особистісної тривожності (ОТ) за методикою Спілбергера-Ханіна, бали; частоти серцевих скорочень (ЧСС), уд./хв; прогнозування артеріального тиску (АТ): систолічного (САТ) і діастолічного (ДАТ), мм.рт.ст.; теплінг-тесту (ТТ, за комп'ютеризованою модифікацією методики Ільїна), знаків/сек; вестибулярної функції (ВФ) за пробою Ромберга, сек; енергетичного балансу за кольоро- (КС) та звуко-сприйняттям (ЗС), у.о.; вираховували інтегральний індекс ПА, бали.

Обрані психофізіологічні показники служать маркерами адаптаційних механізмів: показники тривожності (РТ та ОТ) відображають психоемоційний компонент адаптації; показники серцево-судинної системи (ЧСС та АТ) характеризують вегетативну регуляцію, а показники сенсомоторних функцій (ТТ, ВФ) та психоемоційного сприйняття (КС та ЗС) відображають стан сенсорної обробки та психоемоційної регуляції.

Методом анкетування вивчали харчову поведінку та фізичну активність студентів за допомогою адаптованих версій міжнародних стандартів відповідно (Food Frequency Questionnaire (FFQ), 2022; International Physical Activity Questionnaire (IPAQ), 2002). Анкети містили питання про частоту споживання продуктів, кількості фруктів, овочів, води, солодощів та типи й регулярність фізичної активності. Дослідження проведено під час лабораторних та семінарських занять.

Статистичну обробку результатів здійснювали методами математичної статистики з використанням програмного пакета SPSS версія 26.0 (2019 р.) та R версія 4.2.1 (2022 р.). Для нормально розподілених даних (тест Шапіро-Вілка) використано кореляційний аналіз Пірсона. Достовірність змін і відмінностей оцінювали t-критерієм Стьюдента. Відмінності вважали статистично значущими при значеннях $p < 0.05$.

Для кластеризації показників за профілями ризику застосовано алгоритм k-середніх (k-means). Попередня стандартизація всіх змінних здійснювалась методом z-оцінок (z-score) для забезпечення рівномірної ваги змінних у процесі кластеризації.

Результати

Результати дослідження психофізіологічних показників у групах здобувачів освіти спортивних і неспортивних спеціальностей подано у таблиці 1.

З неї видно, що між групами обстежуваних спостерігалась істотна різниця у кількісних значеннях. Студенти неспортивних спеціальностей демонстрували статистично значимо вищі показники тривожності, ЧСС та АТ одночасно зі статистично значимо нижчими показниками сенсомоторних та психоемоційних параметрів ($p < 0.05$).

Кількісні характеристики групових різниць ($t = 5.42-12.14$, $p < 0.01$, Cohen's $d = 1.08-2.63$) демонструють, що показники ЧСС, АТ та РТ визначають оптимальний рівень адаптації здобувачів вищої освіти. Імовірно, нижчі показники ПА у студентів

неспортивних спеціальностей корелюють із нерегулярністю харчування, порушеннями сну та дефіцитом рухової активності, що є індикаторами підвищеного ризику дезадаптації. На противагу цьому, студенти з вищими рівнями ПА виявили більш ефективні механізми впорядкування стресового навантаження.

Для подальшого більш детального вивчення пристосувальних процесів обстежуваних нами студентів до процесу навчання в умовах екстремальної ситуації воєнного стану ми здійснили розподіл в кожній з груп за рівнями їх ПА (рис. 1).

Графічні дані демонструють, що група обстежуваних неспортивних спеціальностей характеризується значимо більшою часткою осіб зі статистично значимо нижчими рівнями ПА порівняно із групою здобувачів освіти спортивних спеціальностей ($p < 0.05$).

Водночас, в групі студентів спортивних спеціальностей, котра була краще фізично підготовленою, була виявлена статистично значимо вища частка осіб з середнім та високим рівнями ПА відносно студентської групи неспортивних спеціальностей ($p < 0.05$). До того ж, обстежувані спортивних спеціальностей відзначались мінімальною представленістю осіб із критично низьким рівнем ПА.

Результати проведеного аналізу показників ПА досліджуваних груп за психофізіологічними характеристиками наведено у таблиці 2.

З таблиці видно, що студентська молодь неспортивних спеціальностей демонструвала статистично значимо вищі показники тривожності, серцевої активності та артеріального тиску та статистично значимо нижчі показники сенсомоторних та психоемоційних функцій порівняно зі студентами спортивних спеціальностей у всіх групах ПА.

З метою виявлення можливих зв'язків між досліджуваними психофізіологічними показниками та рівнем психофізіологічної адаптації нами було здійснено кореляційний аналіз (табл. 3). Аналіз результатів виявив статистично значимі кореляції між рівнем ПА та всіма досліджуваними показниками.

Як видно з таблиці 3, було встановлено статистично значимі кореляційні залежності показників тривожності з рівнем ПА (РТ: $p = 0.00001$, $\eta^2 = 0.55$; ОТ: $p = 0.0002$, $\eta^2 = 0.44$).

Також були виявлені значимі кореляційні залежності рівня ПА і показників серцевої активності (ЧСС: $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.44$) та артеріального тиску (САТ: $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.40$; ДАТ: $p = 0.01$, $\eta^2 = 0.34$).

Таблиця 1

Кількісні значення досліджуваних психофізіологічних показників здобувачів вищої освіти (mean $\pm$ SD)

Показник	Групи обстежуваних		t-критерій Стьюдента	p	Показники ефекту	
	здобувачі освіти неспортивних спеціальностей N=43	здобувачі освіти спортивних спеціальностей N=43			Cohen's d	η^2
РТ, бали	46.4 $\pm$ 8.2	38.3 $\pm$ 6.9	5.42	<0.05 (p=0.0001)	1.08	0.26
ОТ, бали	58.1 $\pm$ 7.9	45.7 $\pm$ 7.4	6.93	<0.05 (p = 0.00003)	0.26	0.36
ЧСС, уд./хв.	110.1 $\pm$ 10.8	92.1 $\pm$ 11.8	7.03	<0.05 (p = 0.00003)	1.59	0.37
ТТ, зн./сек	3.58 $\pm$ 0.54	4.89 $\pm$ 0.55	-11.22	<0.01 (p < 0.000001)	2.39	0.60
ВФ, сек	2.05 $\pm$ 0.67	6.71 $\pm$ 3.82	-7.65	<0.01 (p < 0.000001)	1.71	0.41
САТ, мм. рт. ст.	147.2 $\pm$ 10.2	123.5 $\pm$ 11.2	10.28	<0.01 (p < 0.000001)	2.19	0.56
ДАТ, мм. рт. ст.	98.4 $\pm$ 6.7	82.0 $\pm$ 5.7	12.14	<0.01 (p < 0.000001)	2.63	0.64
КС, у.о.	0.69 $\pm$ 0.12	1.15 $\pm$ 0.34	-8.00	<0.05 (p = 0.00001)	1.86	0.43
ЗС, у.о.	0.55 $\pm$ 0.13	1.02 $\pm$ 0.15	-15.81	<0.01 (p < 0.000001)	3.35	0.75

Примітка: mean – середнє значення; SD – стандартне відхилення; p – рівень достовірності відмінностей між показниками обстежуваних груп (p < 0.01; p < 0.05); Cohen's d – показник ефекту за Коеном; η^2 – коефіцієнт детермінації (частка дисперсії).

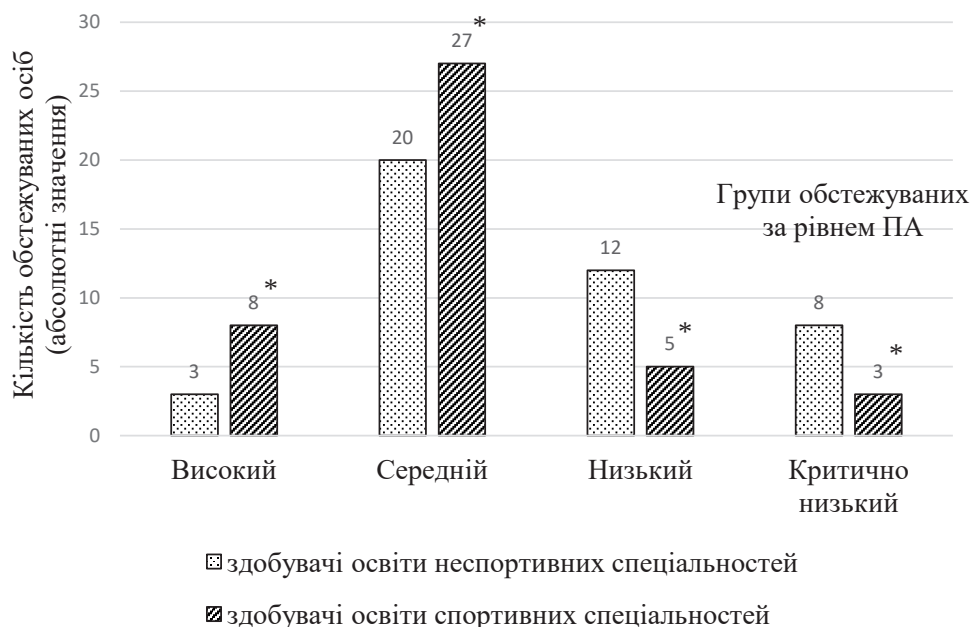


Рис. 1. Кількісний розподіл обстежуваних за рівнями психофізіологічної адаптації (ПА)

Примітка: * – достовірність відмінностей p < 0.05

Група студентів неспортивних спеціальностей характеризувалась достовірно більшою часткою осіб з суттєво нижчими рівнями ПА (Cohen's d = 1.08–3.35, p < 0.01), що демонстрували статистично значимі кореляції з підвищеною тривожністю та

Таблиця 2
Показники психофізіологічних характеристик студентської молоді з різним рівнем ПА
(mean ± SD)

Показники	Рівні психофізіологічної адаптації обстежуваних			
	В	С	Н	КН
здобувачі освіти неспортивних спеціальностей				
РТ, бали	32.8±4.6*	38.2±5.9*	44.5±6.1*	53.4±7.3*
ОТ, бали	42.4±5.3*	48.7±5.8*	57.8±6.2*	65.1±5.1*
ЧСС, уд. / хв	91.2±3.1*	97.3±4.7*	107.4±8.1*	116.2±7.4*
ТТ, зн. / сек	5.14±0.18	4.63±0.35	3.95±0.31*	3.18±0.22*
ВФ, сек	3.18±0.32*	2.64±0.48*	2.02±0.44	1.50±0.31
САТ, мм. рт. ст.	132.1±6.2*	138.3±5.4*	146.2±7.9*	155.3±6.8
ДАТ, мм. рт. ст.	86.1±2.3*	90.2±3.1*	97.3±5.2*	107.1±4.3*
КС, у.о.	0.98±0.11*	0.89±0.15*	0.75±0.12*	0.60±0.10*
ЗС, у.о.	0.87±0.07*	0.80±0.16*	0.62±0.12*	0.44±0.12*
здобувачі освіти спортивних спеціальностей				
РТ, бали	30.1±4.3	34.9±5.0	41.8±6.4	48.2±7.1
ОТ, бали	39.2±3.9	42.3±4.3	46.0±5.4	52.1±5.8
ЧСС, уд. / хв	84.3±3.8	87.2±5.0	89.8±7.2	98.4±8.1
ТТ, зн. / сек	5.62±0.21	5.34±0.43	5.08±0.39	4.52±0.44
ВФ, сек	14.35±4.02	11.14±4.25	6.54±2.87	3.82±1.95
САТ, мм. рт. ст.	123.2±8.0	127.3±8.3	124.1±7.6	138.2±8.4
ДАТ, мм. рт. ст.	76.1±3.0	78.5±3.9	77.2±3.3	92.3±4.8
КС, у.о.	1.52±0.21	1.48±0.20	1.44±0.15	1.08±0.18
ЗС, у.о.	1.38±0.19	1.31±0.17	1.21±0.20	0.82±0.14

Примітка: * – достовірність різниць $p < 0.05$ порівняно аналогічного рівня у представників спортивних спеціальностей; В – високий, С – середній, Н – низький, КН – критично низький рівні ПА.

Таблиця 3
Кореляційний аналіз психофізіологічних показників обстежуваних здобувачів вищої освіти

	Групи обстежуваних					
	здобувачі освіти неспортивних спеціальностей			здобувачі освіти спортивних спеціальностей		
	r	p	η^2	r	p	η^2
ТТ – ПА	0.64	<0.05 (p = 0.0001)	0.41	0.52	<0.05 (p = 0.002)	0.27
ВФ – ПА	0.59	<0.05 (p = 0.002)	0.35	0.47	<0.05 (p = 0.008)	0.22
РТ – ПА	-0.74	<0.01 (p = 0.00001)	0.55	-0.64	<0.01 (p = 0.0001)	0.41
ОТ – ПА	-0.66	<0.01 (p = 0.0002)	0.44	-0.58	<0.01 (p = 0.0005)	0.34
ЧСС – ПА	-0.66	<0.05 (p = 0.001)	0.44	-0.50	<0.05 (p = 0.004)	0.25
САТ – ПА	-0.63	<0.05 (p = 0.003)	0.40	-0.45	<0.05 (p = 0.008)	0.20
ДАТ – ПА	-0.58	<0.05 (p = 0.01)	0.34	-0.38	<0.05 (p = 0.02)	0.14
КС – ПА	0.51	<0.05 (p = 0.009)	0.26	0.39	<0.05 (p = 0.02)	0.15
ЗС – ПА	0.43	<0.05 (p = 0.02)	0.18	0.35	<0.05 (p = 0.03)	0.12

Примітка: r – щільність кореляції (Пірсон); p – рівень достовірності кореляції; η^2 – коефіцієнт детермінації (частка дисперсії).

низькими показниками сенсомоторних та психоемоційних функцій (ВФ: $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.35$; ТТ: $p = 0.0001$, $\eta^2 = 0.41$; показники психоемоційної регуляції – КС: $p = 0.009$, $\eta^2 = 0.26$; ЗС: $p = 0.02$, $\eta^2 = 0.18$), ($p < 0.05$).

Отже, фізично нетреновані студенти неспортивних спеціальностей характеризувалась статистично значно гіршими показниками усіх психофізіологічних характеристик порівняно із тренуваними обстежуваними. Найбільш помітними були негативні залежності між рівнем ПА та тривожністю, ЧСС та САТ, які відображають залученість психологічних та фізіологічних механізмів у адаптацію під час хронічного стресу. Нижчий рівень ПА статистично корелював з вищими показниками тривожності, серцевої діяльності та АТ.

Таблиця 3 демонструє, що найбільший вплив на ПА чинили показники тривожності та серцево-судинної системи з найвищими коефіцієнтами кореляції.

Важливу роль відіграла здатність підтримувати рівновагу та сенсомоторна реактивність, а також сприйняття кольорів та звуків, які відображають психоемоційні характеристики особистості (Raccanello et al., 2024; Бишевец і Голованова, 2024; Byshevets et al., 2024).

Обговорення

Виявлене розподілення психофізіологічних показників, наведене у таблиці 1, свідчить про зниження адаптаційних резервів у студентів неспортивних спеціальностей, яке сформувалося під впливом стресового навантаження. Подібні закономірності були описані у дослідженнях різних вчених (Holubnycha et al., 2022; Restrepo et al., 2023), де наголошувалося, що перманентний стрес у поєднанні з недостатньою тривалістю сну спричиняє несприятливі зміни ЧСС, АТ, рівня тривожності та навчальних результатів у студентів.

Схожі негативні тенденції психофізіологічного статусу зустрічалися і у інших роботах, де підкреслювалось, що довготривалий стрес та порушення емоційної регуляції призводять до суттєвих змін у серцевій активності та утруднення навчальної діяльності (Raccanello et al., 2024).

Отже, результати, отримані іншими дослідниками, які займалися вивченням адаптаційних процесів студентства в умовах змодельованого стресу з одночасним виконанням напруженої розумової та фізичної роботи, підтверджують та доповнюють наші дані щодо посиленої реактивності організму

на стресові впливи, особливо у студентів неспортивних спеціальностей. Це збільшує впевненість у ймовірній тенденції до підвищеного навантаження на адаптаційні системи, що відповідальні за забезпечення нормального перебігу ПА (Kasap & Kurt, 2025).

З літератури відомо, що психофізіологічні зміни, спровоковані стресом, можуть негативним чином впливати на навчальні досягнення, оскільки порушують нейронну передачу сигналів у структурах гіпокампа, мигдалині та гіпоталамусі (Хоменко і Шевчук, 2023; Бишевец і Голованова, 2024; Boltivets et al., 2025; Kasap & Kurt, 2025).

Інші дослідники наголошують на необхідності систематичних стресових сценаріїв із поступовим і послідовним ускладненням, що надало б студентам можливості до покращення практичних вмінь, формування потрібних для професійної діяльності компетентностей: уміння приймати обґрунтовані рішення, управління ризиками, вироблення командного співробітництва і ін., що додає дискусійності цій проблематиці (Holubnycha et al., 2022; Restrepo et al., 2023; Kasap & Kurt, 2025).

Такий розподіл обстежуваних у досліджуваних групах за рівнями ПА переконливо вказує на те, що концентрація у низьких та критично-низьких адаптаційних діапазонах, визначених КП ІЮПАЛ, у здобувачів неспортивних спеціальностей, які представляли фізично нетреновану студентську молодь, ймовірно пов'язана з недостатніми механізмами адаптації до стресогенних факторів (див. рис. 1). На це вказувало і встановлений за результатами їх анкетування неправильний режим харчування, низький рівень рухової активності на фоні інтенсивного хронічного стресу, викликаного масштабним військовим конфліктом в Україні.

Хронічне стресогенне навантаження, постійна тривожність, психологічне напруження та невизначеність майбутнього у поєднанні з інтенсивністю навчального процесу детермінували статистично значимо вищу частку студентів з критично-низьким та низьким рівнями ПА у групі неспортивних спеціальностей. Ці дані узгоджуються з результатами інших досліджень (Шинкарук та ін., 2017; Бишевец і Голованова, 2024; Byshevets et al., 2024).

Отримані нами результати узгоджуються з даними, представленими у дослідженнях інших вчених, де продемонстровано,

що навіть незначні посилення хронічного стресу призводять до сповільнення швидкості сенсомоторної реактивності у молоді (Restrepo et al., 2023). Крім того, у роботах деяких авторів акцентується зв'язок між тривожністю та підвищеними показниками АТ, ЧСС у здобувачів вищої освіти, під час стресу, зокрема в екзаменаційний період, що підтверджує отримані нами результати (Kasap & Kurt, 2025). Імовірно, це є наслідком хронічного стресу, обумовленого навчанням в умовах воєнного стану. Адаптаційні механізми надзвичайно чутливі до стресових факторів (Holubnych et al., 2022; Результати всеукраїнського опитування, 2025).

Іншим важливим аспектом проведеного дослідження є те, що низька ПА студентської молоді проявлялась переважно у групі нетренованих осіб, що вказує на їх чутливість до стресу та виснаження адаптаційних механізмів. Умови воєнного стану та інтенсивне академічне навантаження визначили переважання осіб з критично-низьким та низьким рівнями ПА у студентів неспортивних спеціальностей, тоді як більшість обстежуваних групи спортивних спеціальностей мали середній рівень ПА та вищий відсоток осіб з високим її рівнем.

Виявлені залежності між рівнем ПА та досліджуваними психофізіологічними показниками демонструють, що зниження адаптаційної здатності супроводжується посиленням чутливості до стресу та дисрегуляцією автономних функцій людини (табл. 3). Психоемоційне та когнітивне навантаження разом з хронічним стресом та слабкою фізичною підготовкою негативно впливають на рівень ПА. Виявлені нами позитивні залежності між показниками сенсомоторної реактивності, психоемоційного сприйняття та рівнем ПА ($p < 0.05$) свідчать про важливість цих параметрів у адаптаційних процесах, адже числові значення цих психофізіологічних показників у осіб з недостатньою фізичною активністю виявилися статистично значимо нижчими в порівнянні з групою обстежуваних спортивного спрямування (Шинкарук та ін., 2017; Бишевец і Голованова, 2024; Byshevets et al., 2024; Массанов, 2025).

З літератури відомо, що зниження адаптаційного потенціалу під час хронічного стресу пов'язане з дисрегуляцією вегетативних функцій та порушеннями сенсорної обробки, що підвищує ризик тривожних, депресивних та невротичних синдромів

(Holubnych et al., 2022; Хоменко і Шевчук, 2023). Науковці наголошують, що показники тривожності, ЧСС, АТ, ТТ та ВФ вносять найбільший вклад у формування рівня ПА (Restrepo et al., 2023; Kasap & Kurt, 2025) і підтверджується отриманими нами результатами, зібраними авторською методикою.

Таким чином, нам вдалося виявити суттєві порушення ПА до навчання українського студентства під впливом хронічного стресу, спричиненого воєнним станом у державі. Поєднання тривожності, недостатності сну, нераціонального харчування та дефіциту фізичної активності спричиняє погіршення ПА та психоемоційні розлади (Gerber et al., 2020; Cellini et al., 2023; Юхименко та ін., 2024; Коваль, 2025). Хронічний стрес проявляється посиленням тривожності, порушеннями сенсомоторного реагування, зниженням вестибулярної функції та дисбалансом серцево-судинної системи (Nele et al., 2019; Хоменко і Шевчук, 2023; Boltivets et al., 2025)

Висновки

Висновки обмежуються вибіркою здобувачів освіти чоловічої статі віком 17–28 років Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Подальші наукові пошуки будуть спрямовані на залучення представників різних вікових і гендерних груп.

1. З'ясовано, що рівень ПА здобувачів освіти до навчального процесу відображає інтегровану взаємодію нейроендокринних, автономних та соматичних механізмів, модульованих поведінковими та соціальними факторами. Він характеризується індивідуальними варіаціями, зумовленими фізичним станом, особливостями вегетативної регуляції, психоемоційною стресостійкістю, типом харчової поведінки, якістю сну, фізичною активністю та соціальною підтримкою.

2. Встановлено статистично значимі кореляції між рівнем ПА здобувачів вищої освіти та показниками тривожності (РТ: $p = 0.00001$, $\eta^2 = 0.55$; ОТ: $p = 0.0002$, $\eta^2 = 0.44$), ЧСС ($p = 0.001$, $\eta^2 = 0.44$) та АТ (САТ: $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.40$; ДАТ: $p = 0.01$, $\eta^2 = 0.34$). Серед студентів неспортивних спеціальностей виявлено достовірно значимо більшу частку осіб зі статистично значимо нижчими рівнями ПА (Cohen's $d = 1.08$ – 3.35 , $p < 0.01$), які корелювали з підвищеною тривожністю та статистично значимо нижчими показниками сенсомоторних та психоемоційних функцій (ВФ: $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.35$; ТТ:

$p = 0.0001$, $\eta^2 = 0.41$; психоемоційна регуляція – КС: $p = 0.009$, $\eta^2 = 0.26$; ЗС $p = 0.02$, $\eta^2 = 0.18$, ($p < 0,05$).

3. Виявлено статистично значимий зв'язок між типом харчової поведінки, станом фізичної активності та рівнем ПА. Предикторами оптимальної ПА виступають показники ЧСС, АТ та РТ. Спостерігається статистично значима різниця ($t = 5.42-12.14$, $p < 0.01$, Cohen's $d = 1.08-2.63$): низька ПА у студентів неспортивних спеціальностей асоціювалася з порушеннями харчування, сну та низькою фізичною активністю, що вказує на підвищений ризик дезадаптації. Натомість особи з високою ПА демонстрували ефективні стратегії подолання стресу.

4. Застосування КП ІОПАЛ дозволило виявити стан пристосувальних механізмів здобувачів освіти та довести, що інтенсивний навчальний процес в умовах воєнного стану є значущим стресовим фактором, який пред'являє високі вимоги до пристосувальних механізмів студентської молоді.

5. Запропоновано алгоритми скринінгу та корекційні інтервенції для студентів з низьким рівнем адаптації, що включають моніторинг серцево-судинних показників, оцінку тривожності та сенсомоторних функцій.

Практичні рекомендації

На нашу думку, систематичне впровадження моніторингу ПА у закладах вищої освіти може допомогти контролювати функціональний стан здобувачів вищої освіти, знайти інструменти для забезпечення психогігієнічних норм навчання та забезпечити психологічну підтримку, що особливо необхідна в умовах воєнного стану. На основі комплексного аналізу отриманих нами результатів нами були розроблені практичні рекомендації щодо покращення загального рівня ПА студентської молоді:

- рекомендуємо впроваджувати у життєдіяльність студентської молоді тренінги зі

стресостійкості, програми фізичної активності, психолого-педагогічної підтримки та активізувати просвітницьку роботу щодо здорового харчування та режиму дня.

- застосовувати індивідуалізовані практичні модулі з емоційної регуляції у навчальні академічні програми та створювати системи менторства і підтримки.

- здійснювати інтервенції за рівнями ПА для покращення загального стану здоров'я:

- о студентам із соматичним дефіцитом пропонувати збагачені білком та вітамінами раціони харчування, проведення індивідуально орієнтованих силових та аеробних тренувань.

- о студентам з виявленою автономною дисрегуляцією (висока / низька ЧСС) рекомендуємо: використання дихальних технік, програм релаксації, самоконтролю, заняття йогою, техніки цигун тощо.

- о студентам з виявленою емоційною нестабільністю (висока РТ та ОТ) бажано зосередитися на застосуванні тренінгів емоційної регуляції, підвищенні соціальних зв'язків.

- о студентам з виявленими порушеннями сенсомоторної реактивності (низький теппінг, рухова дестабілізація): запроваджувати заняття з акцентом на вправи для поліпшення координаційної функції, балансу рівноваги.

Щодо системних заходів оптимізації ПА здобувачів вищої освіти важливим доповненням навчальних планів можуть стати регулярні модулі з психоемоційної компетентності, сприяння фізичній активності, підвищення доступності послуг психологічної, соціальної, харчової підтримки.

Отримані практичні результати можуть бути використані для попередження розвитку дезадаптаційних змін, формування персоніфікованих корекційних заходів, забезпечення швидкої ідентифікації студентів, яким потрібна індивідуальна підтримка.

Список використаної літератури

Бишевец Н. Г., Голованова Н. А. Динаміка психофізіологічних показників українських здобувачів вищої освіти в умовах військового стану. *Педагогічна академія: наукові записки*. 2024. № 6. <https://doi.org/10.57125/pedacademy.2024.05.29.01>

Коваль К. Розробка комп'ютеризованого методу інтегральної оцінки психофізіологічної адаптації людини. *Світ наукових досліджень – 2025* : матеріали міжнар. мультидисциплінар. наук. інтернет-конф. Тернопіль – Опіле, 2025. Вип. 40. С. 173–175 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.economy-confer.com.ua/full-article/6205/> (дата звернення: 24.02.2026).

Коваль К. Г., Хоменко С. М., Юхименко А. І. Психофізіологічні основи поняття стресостійкості людини. *Mechanisms of Development of the Scientific and Technical Potential of Modern Society – 2024* : матеріали XL міжнар. наук.-практ. конф. Salzburg. 2024. С. 29–31. <https://doi.org/10.70286/isu-25.09.2024>

Комп'ютерна програма «Інтегральна оцінка психофізіологічної адаптації людини» : свідоцтво про реєстрацію авторського права № 139404. Україна : УКРНОІВІ, 31.10.2025. Бюл. № 94 [Електронний ресурс]. URL: <https://iprop-ua.com/cr/rdysqr4c/> (дата звернення: 24.02.2026).

Массанов А. Теоретична модель розвитку стресостійкості у спортсменів. *Наука і освіта*. 2025. № 2. С. 37–45. <https://doi.org/10.24195/2414-4665-2025-2-5>

Стресові стани населення України в контексті війни. Результати всеукраїнського опитування. Портал Соціологічної асоціації України [Електронний ресурс]. URL: <https://sau.in.ua/research/stresovi-stany-naselennya-ukrayiny-v-konteksti-vijny-rezultaty-vseukrayinskogo-opytuvannya/> (дата звернення: 24.02.2026).

Хоменко І. М., Шевчук Т. В. Формування морфофункціональної готовності та особливості процесів адаптації студентів на вихідному етапі навчання в закладі вищої освіти. *Вісник Вінницького національного медичного університету*. 2023. Т. 27, № 3. С. 474–482. [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2023-27\(3\)-20](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2023-27(3)-20)

Шинкарук О., Лисенко О., Федорчук С. Стрес та його вплив на змагальну та тренувальну діяльність спортсменів. *Фізична культура, спорт та здоров'я нації*. 2017. Вип. 3 (22). С. 469–476.

Юхименко А. І., Хоменко С. М., Коваль К. Г. Психофізіологічні основи навчальної діяльності здобувачів вищої освіти України. *Prospects of Innovative Development in Science and Technology – 2024* : матеріали XXVIII міжнар. наук.-практ. конф. Gothenburg, 2024. С. 30–37.

Boltivets S., Furman A. V., Furman O., Korolchuk V., Korolchuk M. Integrating psychophysiological technologies for stress management: challenges and solutions in the Ukrainian healthcare system. *European Journal of Trauma and Dissociation*. 2025. Vol. 9, № 4. P. 100603. <https://doi.org/10.1016/j.ejtd.2025.100603>

Byshevets N., Andrieieva O., Pasichniak L., Goncharova N., Yarmak O., Zakharina E., Blystiv T. Evaluation of emotional disorder risk in students with low physical activity levels under stressful conditions. *Journal of Physical Education and Sport*. 2024. Vol. 24, № 4. P. 894–904. <https://doi.org/10.7752/jpes.2024.04102>.

Cellini N., Grondin S., Stablum F., Sarlo M., Mioni G. Psychophysiological stress influences temporal accuracy. *Experimental Brain Research*. 2023. Vol. 241. P. 2229–2240. <https://doi.org/10.1007/s00221-023-06676-9>.

Food Frequency Questionnaire (FFQ) [Електронний ресурс]. URL: <https://biolincc.nhlbi.nih.gov/media/studies/framespring/Forms/Exam%203%20Food%20Frequency%20Questionnaire.pdf> (дата звернення: 24.02.2026).

Gerber M., Schilling R., Colledge F., Ludyga S., Pühse U., Brand S. More than a simple pastime? The potential of physical activity to moderate the relationship between occupational stress and burnout symptoms. *International Journal of Stress Management*. 2020. Vol. 27, № 1. P. 53–64. <https://doi.org/10.1037/str0000129>

Holubnychy L., Matsapura L., Miroshnik L., Hetmanets I., Kovalchuk O., Khodakovska O. Psychophysiological adaptation of international students to learning abroad. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*. 2022. Vol. 5, № 1. P. 37–46. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v5i1.359>

International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) [Електронний ресурс]. URL: <https://youthrex.com/wp-content/uploads/2019/10/IPAQ-TM.pdf> (дата звернення: 24.02.2026).

Kasap K., Kurt B. Exploring the correlation of physiological stress signals with student exam performance: a preliminary study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2025. Vol. 50. P. 149–164. <https://doi.org/10.1007/s10484-025-09685-2>.

Nele A., De Witte J., Buyck I., Daele T. V. Combining biofeedback with stress management interventions: a review. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2019. Vol. 44. P. 71–82. <https://doi.org/10.1007/s10484-018-09427-7>.

Raccanello D., Burro R., Aristovnik A. et al. Coping and emotions of global higher education students to the Ukraine war worldwide. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14, № 1. P. 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59009-3>.

Restrepo J. E., Bedoya Cardona E. Y., Cuartas Montoya G. P., Cassaretto Bardales M. de los M., Vilela Alemán Y. P. Academic stress and adaptation to university life: mediation of cognitive-emotional regulation and social support. *Anales de Psicología*. 2023. Vol. 39, № 1. P. 62–71. <https://doi.org/10.6018/analesps.472201>.

Yukhymenko L. Characteristics of anxiety in the conditions of strenuous activity. *Paradigmatic view on the concept of world science – 2020* : collection of academic papers ЛОГОС. Toronto, 2020. Vol. 1, P. 136–137. <https://doi.org/10.36074/21.08.2020.v1.49>.

Yukhymenko L., Pustovit O. Psychophysiological basis of individual human behavioral reactions. *ScienceRise: Biological Science*. 2021. № 1 (26). P. 14–19. <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2021.228652>.

References

- Byshevets N. H., Holovanova N. L. (2024). Dynamika psykhofiziologichnykh pokaznykiv ukrainskykh здобувачів вищої освіти в умовах воєнного стану. [Dynamics of psychophysiological indicators of Ukrainian higher education students under martial law]. *Pedahohichna akademiia: naukovy zapysky* [Pedagogical Academy: research papers], 6. <https://doi.org/10.57125/pedacademy.2024.05.29.01> [in Ukrainian].
- Koval K. (2025). Rozrobka kompiuteryzovanoho metodu intehralnoi otsinky psykhofiziologichnoi adaptatsii liudyny. [Development of a computerized method for integral assessment of human psychophysiological adaptation]. *Svit naukovykh doslidzhen* [The world of scientific research], Ternopil – Opole, 40, pp. 173–175. [Electronic resource] URL: <https://www.economy-confer.com.ua/full-article/6205/> (access date 24.02.2026) [in Ukrainian].
- Koval K. H., Khomenko S. M., Yukhymenko L. I. (2024). Psykhofiziologichni osnovy poniattia stresostiikosti liudyny. [Psychophysiological foundations of the concept of human stress resistance]. *Mechanisms of Development of the Scientific and Technical Potential of Modern Society*, Salzburg, pp. 29–31. <https://doi.org/10.70286/isu-25.09.2024> [in Ukrainian].
- Kompiuterna prohrama “Intehralna otsinka psykhofiziologichnoi adaptatsii liudyny”. Certificate of copyright registration No. 139404. [Computer programme “Integral Assessment of Human Psychophysiological Adaptation”: Copyright Registration Certificate № 139404] [Electronic resource]. URL: <https://iprop-ua.com/cr/rdysqp4c/> (access date 24.02.2026) [in Ukrainian].
- Massanov A. (2025). Teoretychna model rozvytku stresostiikosti u sportsmeniv. [Theoretical model of stress resistance development in athletes]. *Nauka i osvita* [Science and Education], 2, 37–45. <https://doi.org/10.24195/2414-4665-2025-2-5>
- Stresovi stany naselennia Ukrainy v konteksti viiny. Rezultaty vseukrainskoho opytuvannia (2025). [Stressful conditions of the population of Ukraine in the context of war: results of an all-Ukrainian survey. Website of the Ukrainian Sociological Association]. [Electronic resource] URL: <https://sau.in.ua/research/stresovi-stany-naselennya-ukrayiny-v-konteksti-vijny-rezultaty-vseukrayinskogo-opytuvannya/> (access date 24.02.2026) [in Ukrainian].
- Khomenko I. M., Shevchuk T. V. (2023). Formuvannia morfofunktsionalnoi hotovnosti ta osoblyvosti protsesiv adaptatsii studentiv na vykhidnomu etapi navchannia v zakladi viyskovoї osvity. [Formation of morphofunctional readiness and peculiarities of adaptation processes of students at the initial stage of study in a higher education institution]. *Visnyk Vinnytskoho natsionalnoho medychnoho universytetu* [Journal of Vinnitsa National Medical University], 27(3), 474–482. [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2023-27\(3\)-20](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2023-27(3)-20)
- Shynkaruk O., Lysenko O., Fedorchuk S. (2017). Stres ta yoho vplyv na zmahalnu ta trenuvalnu diialnist sportsmeniv. [Stress and its impact on competitive and training activities of athletes]. *Fizychna kultura, sport ta zdorovia natsii* [Physical education, sport and national health], 3(22), 469–476. [in Ukrainian].
- Yukhymenko L. I., Khomenko S. M., Koval K. H. (2024). Psykhofiziologichni osnovy navchalnoi diialnosti здобувачів вищої освіти України. [Psychophysiological foundations of educational activity of higher education students of Ukraine]. *Prospects of Innovative Development in Science and Technology*, Gothenburg, pp. 30–37. [in Ukrainian].
- Boltivets S., Furman A. V., Furman O., Korolchuk V., Korolchuk M. (2025). Integrating psychophysiological technologies for stress management: challenges and solutions in the Ukrainian healthcare system. *European Journal of Trauma and Dissociation*, 9(4), 100603. <https://doi.org/10.1016/j.ejtd.2025.100603> [English].
- Byshevets N., Andrieieva O., Pasichniak L., Goncharova N., Yarmak O., Zakharina E., Blystiv T. (2024). Evaluation of emotional disorder risk in students with low physical activity levels under stressful conditions. *Journal of Physical Education and Sport*, 24(4), 894–904. <https://doi.org/10.7752/jpes.2024.04102> [in English].
- Cellini N., Grondin S., Stablum F., Sarlo M., Mioni G. (2023). Psychophysiological stress influences temporal accuracy. *Experimental Brain Research*, 241, 2229–2240. <https://doi.org/10.1007/s00221-023-06676-9> [in English].
- Food Frequency Questionnaire (FFQ). [Electronic resource] URL: <https://biolincc.nhlbi.nih.gov/media/studies/framoffspring/Forms/Exam%203%20Food%20Frequency%20Questionnaire.pdf> (access date 24.02.2026) [in English].
- Gerber M., Schilling R., Colledge F., Ludyga S., Pühse U., Brand S. (2020). More than a simple pastime? The potential of physical activity to moderate the relationship between occupational

stress and burnout symptoms. *International Journal of Stress Management*, 27(1), 53–64. <https://doi.org/10.1037/str0000129> [in English].

Holubnycha L., Matsapura L., Miroshnik L., Hetmanets I., Kovalchuk O., Khodakovska O. (2022). Psychophysiological adaptation of international students to learning abroad. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 5(1), 37–46. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v5i1.359> [in English].

International Physical Activity Questionnaire (IPAQ). [Electronic resource] URL: <https://youthrex.com/wp-content/uploads/2019/10/IPAQ-TM.pdf> (access date 24.02.2026) [in English].

Kasap K., Kurt B. (2025). Exploring the correlation of physiological stress signals with student exam performance: a preliminary study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 50, 149–164. <https://doi.org/10.1007/s10484-025-09685-2> [in English].

Nele A., De Witte J., Buyck I., Daele T. V. (2019). Combining biofeedback with stress management interventions: a review. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 44, 71–82. <https://doi.org/10.1007/s10484-018-09427-7> [in English].

Raccanello D., Burro R., Aristovnik A., et al. (2024). Coping and emotions of global higher education students to the Ukraine war worldwide. *Scientific Reports*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59009-3> [in English].

Restrepo J. E., Bedoya Cardona E. Y., Cuartas Montoya G. P., Cassaretto Bardales M. de los M., Vilela Alemán Y. P. (2023). Academic stress and adaptation to university life: mediation of cognitive-emotional regulation and social support. *Anales de Psicología*, 39(1), 62–71. <https://doi.org/10.6018/analesps.472201> [in English].

Yukhymenko L. (2020). Characteristics of anxiety in the conditions of strenuous activity. *Paradigmatic view on the concept of world science – 2020 : collection of academic papers ЛОГОΣ*. Toronto, Vol. 1, pp. 136–137. <https://doi.org/10.36074/21.08.2020.v1.49> [in English].

Yukhymenko L., Pustovit O. (2021). Psychophysiological basis of individual human behavioral reactions. *ScienceRise: Biological Science*, 1(26), 14–19. <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2021.228652> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 04.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 06.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



УДК 581.16:581.46:582.582.1
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.5>

ЦИАТІЙ ЯК ОСОБЛИВА СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГІЧНА ОДИНИЦЯ РОЗМНОЖЕННЯ РОСЛИН РОДИНИ EUPHORBIACEAE JUSS

Н. Я. Левчик¹, Н. В. Заіменко², Н. Є. Горбенко³

Стаття присвячена огляду та аналізу наукових досліджень біології розмноження рослин родини *Euphorbiaceae* Juss. Ці рослини мають космополітичне поширення, різні типи фотосинтезу (C_3 , C_4 , CAM), є джерелом латексу, вторинних метаболітів, мають лікувальні властивості, декоративні форми та перспективні для промислового, фармацевтичного й побутового використання в Україні. Водночас багато видів є отруйними та належать до агресивних бур'янів. Особлива увага приділена унікальній морфолого-біологічній особливості родини – циатію, його ролі у процесах розмноження та еволюційних гіпотезах походження. Циатій – характерне для *Euphorbiaceae* цимоїдне суцвіття чашоподібної форми, утворене зрощеними приквітками. Воно включає синкарпний гінецей із тригніздою зав'язю та сильно редуковані чоловічі монохазії чи дихазії, часто з позаквітковими нектарниками та пелюстковими придатками різної морфології. Чоловіча квітка представлена однією вільною або об'єднаною в пучки тичинкою, кількість та морфологічні особливості якої є видоспецифічною ознакою. За формою нектарників циатії поділяють на групи з цілісними та дворогими структурами; за симетрією – на актиноморфні й зигоморфні. Запилення здійснюють комахи або птахи колібрі. Еволюційне походження циатію пояснюють кількома гіпотезами, серед яких провідна – його формування з більш відкритого суцвіття тирс шляхом згущення квіток і гілок та перекриття зон експресії регуляторних генів.

Циатій має «гібридну» природу, поєднуючи риси квітки й суцвіття.

Проведений аналіз дає можливість окреслити перспективи подальших досліджень щодо інтродукції, фізіологічних особливостей, біохімічного складу та промислового використання рослин *Euphorbiaceae* як джерела цінної сировини для енергетики, фармацевтичної, харчової промисловості та ландшафтного дизайну.

Ключові слова: *Euphorbiaceae*, розмноження, циатії, циатофіли, дводомність.

¹ кандидат біологічних наук, докторант
(Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України, м. Київ)
e-mail: levchyk.n@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8668-8763

² доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент НАНУ, директор
(Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України, м. Київ)
e-mail: zaimenkonnv@ukr.net
ORCID: 0000-0003-2379-1223

³ кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри ботаніки,
деревинознавства та недревних ресурсів лісу
(Національний лісотехнічний університет України, м. Львів)
e-mail: nata.horbenko@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6053-6582

CYATHIUM AS A SPECIFIC STRUCTURAL AND MORPHOLOGICAL ELEMENT OF REPRODUCTION OF PLANTS OF THE EUPHORBIACEAE JUSS. FAMILY

N. Ya. Levchyk, N. V. Zaimenko, N. Ye. Horbenko

The article is devoted to a review and analysis of scientific research on the biology of plant reproduction in the Euphorbiaceae Juss family. These plants have a cosmopolitan distribution and exhibit different types of photosynthesis (C_3 , C_4 , CAM). They are a source of latex and secondary metabolites, possess medicinal properties, include ornamental forms, and are promising for industrial, pharmaceutical, and domestic use in Ukraine. At the same time, many species of the Euphorbiaceae Juss family are poisonous and considered aggressive weeds. Special attention is paid to the unique morphological and biological feature of the family – cyathium, its role in reproductive processes, and evolutionary hypotheses regarding its origin.

Cyathium is a cup-shaped cymoid inflorescence typical of Euphorbiaceae, formed by fused bracts. It includes a syncarpous gynoeceum with a trilobate ovary and strongly reduced male monochasium or dichasium, often with extrafloral nectaries and petal appendages of various morphology. The male flower is represented by one free or bundled stamen, the number and morphological features of which are species-specific. According to the shape of the nectaries, cyathium is divided into groups with integral and bicornuate structures; according to symmetry, into actinomorphic and zygomorphic. Pollination is carried out by insects or hummingbirds. The evolutionary origin of cyathium is explained by several hypotheses, among which the leading one is its formation from a more open thyrses inflorescence by thickening of flowers and branches and overlapping zones of expression of regulatory genes. Cyathium has a "hybrid" nature, combining the features of a flower and an inflorescence.

The analysis makes it possible to outline the prospects for further research on the introduction, physiological characteristics, biochemical composition, and industrial use of these plants Euphorbiaceae as a source of valuable raw materials for the energy, pharmaceutical, and food industries, as well as for landscape design.

Key words: Euphorbiaceae, reproduction, cyathium, cyathophylls, dioecousness.

Вступ

У природних умовах планети Земля, коли глобально відбуваються зміни клімату, локально буденними стають аномальні прояви погоди, інтенсивно зростає тиск людської діяльності та військових дій на стан ґрунту, джерела води, повітря, природну флору та фауну, збільшуються забруднення оточуючого середовища та негативна дія парникового ефекту. В таких умовах здатність рослин до ефективного розмноження є ключовим для збереження не тільки певного виду, окремої популяції, але й рослинного різноманіття планети в цілому. Сотні видів рослин та тварин перебувають під нищівним прицілом оточуючого середовища, його глобальних змін, ускладнених господарською діяльністю та військовими діями цивілізації.

Розмноження є критичним етапом життєвого циклу рослин, що вимагає від них підвищених енергетичних та біоресурсних затрат. Оточуюче середовище та взаємодія із рослинами та тваринами навколо суттєво пошкоджують репродуктивні органи рослин під час цвітіння та плодоношення, визначаючи кількість сформованих зародків, здатних розвинути у повноцінне насіння, що відчутно впливає на продуктивність рослин (Boieiro et al., 2010; Boieiro, 2012).

Проте, ці фактори в комплексі впливають не тільки на репродуктивну здатність рослин, але й сприяють селективним процесам, формуванню нових фенологічних ознак, фізіологічних властивостей, що в результаті підвищує конкурентоспроможність виду. Репродуктивні втрати, спричинені кожним фактором, змінюються залежно від року вегетації, популяції рослин та навіть різняться між окремими особинами (Boieiro et al., 2010; Boieiro, 2012).

Підготовка рослин починається після ініціації цвітіння, яка полягає у сприйнятті рослиною певних специфічних зовнішніх та внутрішніх факторів, що призводять до формування квіткових зачатків. Найважливішими екзогенними факторами є фотоперіодизм та температурні умови навколо. Ендогенні фактори пов'язані із віковими змінами у рослин при їх переході до генеративного періоду онтогенезу (Макрушин та ін., 2006).

Під час підготовки та самого процесу цвітіння відбуваються великі зміни на всіх рівнях організації живої матерії рослини: субклітинному, клітинному, гістологічному, макроморфологічному. В цей час зростає швидкість транспорту асимілятів до стеблових бруньок, в апікальній меристемі

збільшується концентрація вуглеводів, що є однією із найважливіших передумов цвітіння рослин (Amasino, 2010; Taiz et al., 2015). У прилеглих листках спостерігається максимальне накопичення каротину, хлорофілу, що супроводжується значним зменшенням кількості нітрогену та зниженням оводненості паренхіми (Бессонова і Яковлева-Носарь, 2014; Колесніков і Пащенко, 2022).

На субклітинному рівні спостерігається посилення дихання, накопичення його субстратів, активізація синтезу РНК та білків, зміна білкового складу й підвищення активності окремих ферментів. На клітинному рівні відбувається синхронізація біохімічних процесів, що забезпечує одночасний та прискорений поділ клітин. На гістологічному рівні спостерігається реорганізація меристеми: зникають окремі зони, а стрижнева серцевинна меристема вакуолізується.

На макроморфологічному рівні відзначається рання ініціація бічних меристем, прискорене формування горбків та зміна філотаксії. В апікальній меристемі відбувається диференціація тканин із формуванням чашечки, віночка, андроцею та гінецею. Основою морфогенезу квітки є диференційована активація генів (Мусієнко, 2001; Макрушин та ін., 2006).

Феноменами рослинного світу з точки зору розмноження та здатності до виживання в непридатних умовах оточуючого середовища вважаються рослини родини Euphorbiaceae Juss., оскільки вони є мешканцями всіх кліматичних поясів крім Антарктиди, особливо спекотних субтропічних місцевостей, аридних та літоральних смуг, піщаних дюн. Вони теплолюбні, є типовими представниками ксерофітів та навіть сукулентами. У тропічній зоні їх зростає дещо менше, та найменше – на помірних та прохолодних територіях. Важливо, що всі види прекрасно зростають на маргінальних забруднених посушливих ґрунтах, та найголовніше – цвітуть, плодоносять, успішно розмножуються (Mwine, 2011; Webster, 2013; Guyanensis, 2017; Іващенко і Іващенко, 2019). Одна із головних об'єднуючих ознак всіх видів родини – це тип суцвіття цятій.

Рослини Euphorbiaceae мають глибоку стародавню історію застосування в різних галузях медицини та лікувальної справи, харчування, промисловості, побуту та господарської діяльності людини. Сьогодні їх неймовірна гнучкість, невибагливість та пристосованість до несприятливих екологічних умов, здатність до ефективного роз-

множення, швидкого розповсюдження та захоплення нових територій викликають підвищений науковий та споживацький інтерес, що має на меті поглиблення знань морфології, цитології, біохімії та фізіології цих унікальних рослин (Левчик та ін., 2024).

Ключовим пунктом в цьому перебігу є дослідження особливостей фізіології розмноження молочайних, відбір найперспективніших та найцінніших видів, впровадження їх в культуру. Це надасть можливості розширення аграрного виробництва та сфери використання рослинної сировини Euphorbiaceae з лікувальними, економічними та фінансовими перевагами для суспільства, а також для внутрішнього та зовнішнього декорування житла та прилеглих територій.

Метою наших досліджень було проаналізувати наукові джерела із вивчення морфолого-біологічних особливостей генеративної сфери рослин родини Euphorbiaceae. Виявити структурно-морфологічні особливості **циатію** як унікальної генеративної одиниці рослин цієї родини. З'ясувати можливості інтродукції та культивування перспективних видів Euphorbiaceae в умовах України з метою різностороннього та ефективного використання сировини молочайних для збереження рослинного різноманіття Землі.

Матеріал і методи

Матеріалом досліджень були рослини родини Euphorbiaceae Juss. колекцій провідних ботанічних садів України та Європи. Для підготовки статті було використано наукові публікації, що висвітлюють морфологічні та анатомічні особливості цятію у представників родини. Проведено аналіз та систематизацію даних за такими напрямками: морфологічна будова цятію, варіативність у межах родини, екологічні та еволюційні аспекти. Для узагальнення інформації застосовано методи порівняльного аналізу та контент-аналізу текстів. Пошук літератури здійснювався у міжнародних базах даних Scopus, Web of Science, PubMed, а також у відкритих ресурсах (Google Scholar, електронні бібліотеки університетів). Додатково враховувалися класичні монографії та ботанічні огляди, що мають статус академічних видань та фундаментальне значення для систематики родини. Назви рослин подані згідно останніх даних Королівських Ботанічних Садів К'ю, синоніми – за WFO Plant List (WFO, 2025). Для ілюстрації використані авторські фотографії живих колекцій відомих ботанічних садів.

Результати та їх обговорення

Euphorbiaceae Juss. – одна із найбільших та найрізноманітніших родин покритонасінних рослин, налічує близько 8000 видів у більш ніж 300 родах. Рослини відрізняються за формою: високі дерева тропічного лісу, ліани, кущі, багаторічні та однорічні трави, геофіти, сукуленти (Webster, 2013). На теренах України родина представлена п'ятьма родами: *Acalypha* L., *Chrozophora* Neck. ex A.Juss., *Euphorbia* L., *Mercurialis* L., *Ricinus* L. та 61 видом, серед яких є як місцеві представники дикої флори, так і культивовані види (Федорончук, 2024).

Молочай (*Euphorbia* L.) – один із найбільших родів у під родині Euphorbioideae – налічує близько 2000 видів від крихітних або невеличких однорічних або багаторічних трав, кущів до великих та довговічних дерев. Їх

географічне поширення є космополітичним, із переважанням у тропічних та субтропічних регіонах, менша їх кількість у помірному кліматі та можливе існування за межами арктичних областей (Yang et al., 2012; Grímsson et al., 2015; Shixiong et al., 2019).

Euphorbia – це єдиний рід рослин, який має C_3 , C_4 та САМ-види фотосинтезу. Всі види роду мають білий латекс, багатий на вторинні метаболіти, є отруйними. Численні із них належать до космополітичних видів агресивних бур'янів на посівах цінних зернових культур, садів, виноградників, пасовищ. Це молочай плямистий *E. maculata* L., молочай сонячний *E. helioscopia* L., молочай садовий *E. peplus* L., молочай кипарисоподібний *E. cyparissias* L., молочай простертий *E. humifusa* Willd., молочай дрібноквітковий *E. chamaesyce* L., молочай прутноподібний



Рис. 1. Рослини Euphorbiaceae в колекції ботанічного саду *Kruidtuin* м. Левен (Бельгія):
А – *E. peplus* L.; В – *E. cyparissias* L.; С – *E. helioscopia* L.;
та в колекціях ботанічного саду Польської Академії наук та ботанічного саду
Варшавського університету м. Варшава (Польща): D – *E. milii* Des Moul.;
Е – *E. milii* 'Pandora'; F – *E. trigona* Mill. (фото Н. Левчик)

E. saratoi Ardoino та ін. (рис. 1-А, В, С) (Yang et al., 2012; Іващенко і Іващенко, 2019).

Крім того, рід відомий і дуже цінується завдяки своїм декоративним видам, серед яких пуансетія *E. pulcherrima* Willd. ex Klotzsch., терновий вінець *E. milii* Des Moul., молочний куш *E. trigona* Mill., деякі яскраві молочаї помірного клімату та численні тропічні та субтропічні сукуленти, що є обов'язковим атрибутом затишку та гармонії в оселі (рис. 1-Д,Е,Ф) (Riina & Berry, 2012).

Квітка згідно з визначенням – це вкорочений нерозгалужений пагін з обмеженим ростом, листки якого метаморфозовані в зв'язку з статевим розмноженням, що призводить до утворення насіння (Мусієнко, 2001). Одна із головних об'єднуючих ознак всіх видів родини – це тип суцвіття цятій. Характерними для рослин родини Euphorbiaceae є одностатеві зменшені маточкові та тичинкові актиноморфні квітки, дуже рідко двостатеві, найчастіше однодомні, рідше дводомні (рід *Mercurialis* L.), зібрані у суцвіття цятій, що деколи називають за прочитанням латинського терміну цятіумом (лат. *cyathium*) (Plantes Botanique, 2002-2025).

Цятій (від грецького “*kyathos*” – чаша або ковш) – це унікальний типовий для Euphorbiaceae вид цимоїдного суцвіття, що є особливим випадком так званого псевдантія або псевдоквітки. Характеризується як чашоподібна структура, утворена щільно з'єднаними зрощеними приквітками, складається з однієї жіночої квітки з тригніздою зав'яззю, що поникає на довгій ніжці, та чотирьох-п'яти сильно редукованих чоловічих монохазіїв або дихазіїв. Цятій часто з виразними позаквітковими нектарниками та ефектними пелюстковими придатками різної форми, кольору, розміру, з редукованою оцвітиною або без оцвітини (рис. 2) (Webster, 1994a; Webster, 1994b; Prenner & Rudall, 2007; Якубенко та ін., 2011; Dorsey, 2013; Новіков і Барабаш-Красні, 2015; Mali & Panchal, 2017; Gagliardi et al., 2018).

Термін “псевдантії” можна інтерпретувати, як сукупність мініатюрних квіток, які утворюють єдину привабливу структурну одиницю, що має вигляд квітки (рис. 2) (WFO).

Цятій може бути одностатевим або двостатевим. Одностатевий цятій складається з однієї жіночої квітки, або кількох чоловічих. Двостатевий цятій містить жіночу квітку, оточену численними чоловічими. Найпоширенішим є двостатевий ці-

тій, тоді як одностатевий цятій вважається найбільш еволюціонованим завдяки наявності залишків жіночих квіток, що зустрічаються у чоловічих цятіях (*Guyanensis*, 2017). Внаслідок цього види можуть бути однодомними із двостатевими цятіями та дводомними із одностатевими цятіями.

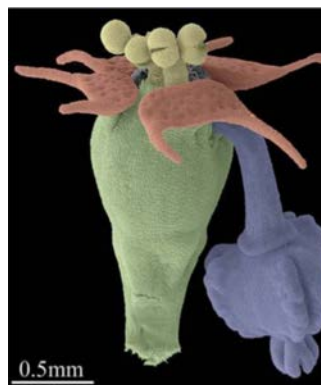


Рис. 2. Цятій *E. peplus* штучно забарвлений: обгортка (зелений колір), нектарники (червоний), на краю обгортки чоловічі квітки (жовтий) і одна жіноча квітка (синій), що звисає з обгортки (Prenner & Rudall, 2007)

Одностатеві цятії у дводомних рослин *Euphorbia tirucalli* L. є яскравим прикладом дводомності. На одній особині *E. tirucalli* можна спостерігати щільні скупчення цятіїв із дуже крихлими світлими пляшково-зеленими чоловічими квітками, розташованими групами на кінцевих гілочках по 2-6 цятіїв. Можливими є включення кількох жіночих квіток. На відміну, на інших особинах цятіїв небагато, в яких розвиваються виключно жіночі квітки (Ma & Gilbert, 2008; Mwine, 2011; Mali & Panchal, 2017; POWO)

У літературі є вказання на дводомність у наступних видів молочаїв: *E. obesa* Hook.f., *E. tubiglans* Marloth ex R.A.Dyer, *E. polygona* Haw. (The Encyclopedia of SUCCULENTS; WFO) (рис. 3).

Квітки суцвіття Euphorbiaceae дуже дрібні, непоказні та позбавлені органів, необхідних для приваблювання запилювачів: чашолистків, пелюсток або нектару (рис. 4-А). Проте інші неквіткові частини рослин мають пелюсткоподібний зовнішній вигляд та нектарники, тому успішно виконують цю роль, як наприклад у *E. marginata* Pursh та *E. helioscopia* (рис. 4-В,С) (Якубенко та ін., 2011)

Жіноча квітка у численних видів Euphorbiaceae формується в центральному (термінальному) положенні, спочатку зви-

саючи з цятію, а з часом стає прямою в квітковій структурі. У деяких представників спостерігаються протилежні випадки, спочатку прямостоячі жіночі квітки з часом стають звисаючими (рис. 5-А,В) (Prenner & Rudall, 2007; Prenner et al., 2008).

Жіночі квітки у переважної більшості видів молочаю повністю складаються з синкарпного гінецею, а оцвітина – повністю відсутня. Навіть у видів, що мають повну квітку (пелюстки, чашолистки), ці структури утворюються на пізній стадії розвитку, коли формування та диференціювання

гінецею майже завершено, як наприклад, у *Euphorbia rhizophora* (P.R.O.Bally) Bruyns (syn. *Monadenium rhizophorum* P.R.O.Bally) та *E. neostolonifera* Bruyns (syn. *Monadenium stoloniferum* (P.R.O.Bally) S.Carter) (рис. 5-С). Тому вони можуть бути інтерпретовані як рудиментарні залишки оцвітини (Prenner et al., 2008).

Синкарпний гінецей Euphorbiaceae зазвичай з двома приймочками на закінченні маточки, утворений переважно з трьох, рідко двох або чотирьох, іноді багатьох плодолистків або карпел (Якубенко



Рис. 3. Дводомні види *Euphorbia*: А – *E. tirucalli* (HQ Flower Guide); В – *E. obesa* (♀); С – *E. obesa* (♂) (Dave's Garden); D – *E. polygona* (фото Н. Левчик)

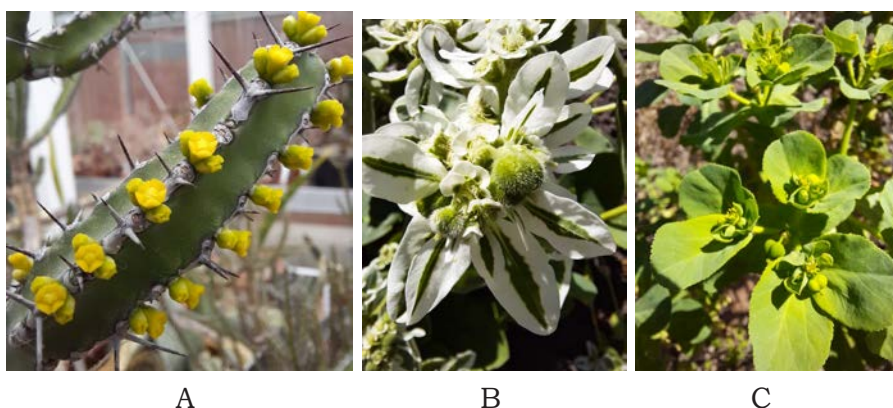


Рис. 4. Суцвіття рослин Euphorbiaceae колекції ботанічного саду м.Мейзе (Бельгія): А – *Euphorbia nigripina* N.E.Br.; В – *E. marginata* Pursh, С – *E. helioscopia* (фото Н. Левчик)

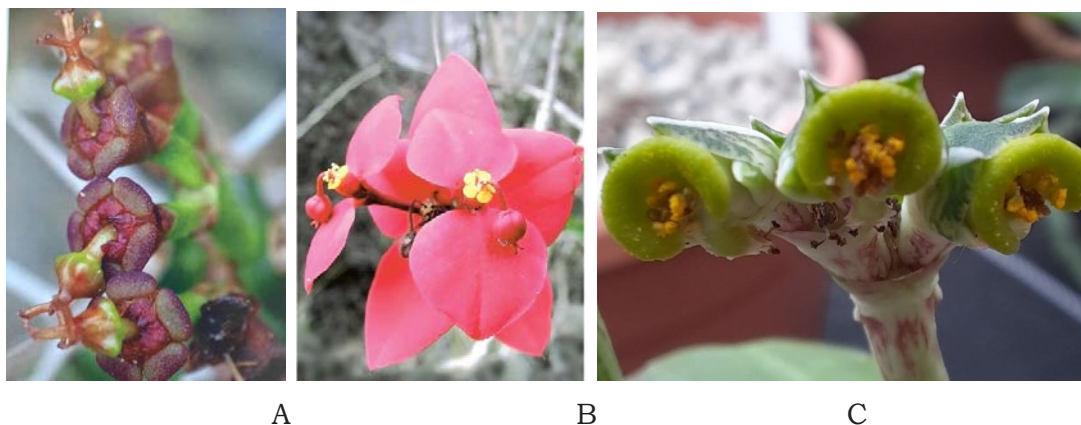


Рис. 5. А – *E. micracantha* Boiss. (Schnabel, 2023); В – *E. podocarpifolia* Urb. (Steinmann et al., 2007); С – *E. neostolonifera* Bruyns (фото Н.Левчик)

та ін., 2011), із багатогніздною верхньою зав'яззю на довгій ніжці. Зав'язь – із одним-двома повислими насіннєвими зачатками в кожному гнізді (рис. 6).

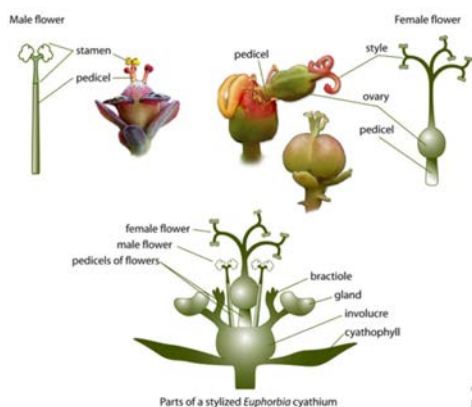


Рис. 6. Будова цятію *E. tirucalli* (Riina & Berry, 2012)

Цятій оточений спільним покривальцем або келихоподібною обгорткою у формі бокальчика (Зиман та ін., 2004; Prenner & Rudall, 2007; Prenner et al., 2008; Бесеганич, 2015), що є його визначальною особливістю. Ця обгортка майже завжди має одну або кілька прикріплених до неї (найчастіше на верхньому обідку) спеціальних залоз та їх придатків, які сильно відрізняються за розміром та формою (Riina & Berry, 2012). Забарвлена обгортка переважно в зеленкувато-жовтий колір. Кожна обгортка має 5 м'ясистих жовто-зелених незалежних нектарників, які виробляють нектар, і тому квітки запилюються комахами (рис. 6) (Van Damme, 1985; Нечитайло і Кучерява, 2005; Гайдаржи та ін., 2007; Калашник і Гайдаржи, 2008; Mwine, 2011).

У молочаїв всередині обгортки одна стеблинна тичинка – це одна чоловіча квітка, кількість та морфологічні особливості якої дуже варіюють та є видоспецифічною ознакою. Тичинка складається з квітної трубки, членистої тичинкової нитки, в'язальця та 1-2 пиляків (Pandey, 2008). Тичинкові нитки можуть бути вільними або об'єднаними в пучки. Наприклад, у рослин роду *Ricinus* sp. зазвичай присутні п'ять численно розгалужених пучків тичинок. А тичинковим квіткам *Ricinus communis* L. характерна велика кількість тичинок, більше 100, об'єднаних у багато дихотомічно розгалужених андрофорів при відсутній маточці (рис. 7) (Van Welzen, 1998).

У рослин роду ятрофа *Jatropha* L. тичинок 6-10, рідше буває більше, розташова-

них у двох різних завійках, по п'ять у кожній (можливо 5+3), нитки частково зрощені в стовпчик, пиляки розкриваються поздовжньо (WFO).



Рис. 7. Пиляки *Ricinus communis* L. у дуже складних розгалужених тичинкових пучках (Claßen-Bockhoff & Frankenhäuser, 2020)

У численних видів молочайних, наприклад у роду *Croton* L. тичинки невизначені. Пиляки складаються з 2 тек, розкриваються апікальними порами, поперечними або поздовжніми щілинами (Pandey, 2008).

Вагому роль у підвищенні ефективності процесу розмноження Euphorbiaceae відіграють такі структури цятію, як нектарники та циатопіли. Цятії суттєво відрізняються за кількістю та формою обгорткових залоз, а також залозистих придатків. Нектарники розташовані на краю циатіальної обгортки в кількості зазвичай 5 або від 1 до 10, та можуть бути злиті у формі «U». Кількість та модифікація цих залоз цілком зорієнтовані на запилювачів.

Розрізняють залози злиті або зрощені у формі «U», як наприклад у *Euphorbia echinulata* (Stapf) Bruyns (рис. 8-A), залози – поодинокі утворення, як у *E. pulcherrima* (рис. 8-B), або групи чотири-п'ять залоз на цятії із пелюстковими, пальчастими чи пелюсткоподібними придатками (ри. 8-D) або без них та зрощені залози кільцеподібної форми, як у *Euphorbia mafingensis* (рис. 8-C) (Hargr.) Bruyns.

За особливостями морфології залоз види Euphorbiaceae можна розділити на дві групи. До групи А належать усі види, які мають цілісні нектарники овальної, довгастої, округло видовженої, еліптичної або ниркоподібної форми. Це види *E. helioscopia*, *E. angulata* Jacq., *E. dulcis*, *E. cuneifolia* Guss., *E. pterococca* Brot., *E. platyphyllos* L., *E. stricta* L., *E. hyberna* L., *E. insularis* Boiss., *E. canuti* Parl., *E. seguieriana* Neck., *E. illirica* Lam., *E. flavicoma* DC. (рис. 9 A-C) (Tison & de Foucault, 2014).

Представники групи В мають серпоподібні або так звані дворогі нектарники. Такі серпоподібні залози із загостреними загнутими кінцями можна спостерігати у *Euphorbia peplus* (рис. 9-D), *Euphorbia segetalis* L., *E. esula* L., *Euphorbia esula* subsp. *esula*, *E. exigua* L., *E. falcata* L., *E. cyparissias* L., *E. graminifolia* Vill., *E. terracina* L. (Tison & de Foucault, 2014).

Стосовно симетрії цятії можуть бути актиноморфними – правильними з багатьма площинами симетрії, та зигоморфними – неправильними, білатерально симетричними лише з однією площиною симетрії

(двосторонні та ярмоподібні, дзеркальні) (рис. 10) (Althobaiti, 2023).

Особливим цікавим випадком симетрії є зигоморфні цятії видів *Pedilanthus* (від грецького «*pedilon*» – туфля, «*anthos*» – квітка), які нагадують туфельку, що відображено в їх численних загальних назвах «*slipper spurge*» – туфелькові молочаї, «*zapatitos*» – туфельки, «*queen's slipper*» – королівські туфельки. Це також пояснює наукову назву синоніму роду Молочай, до якого ці види традиційно приписували: *Pedilanthus* Necker ex Poit. («*foot flower*» – квіткова стопа) (рис. 11-A).

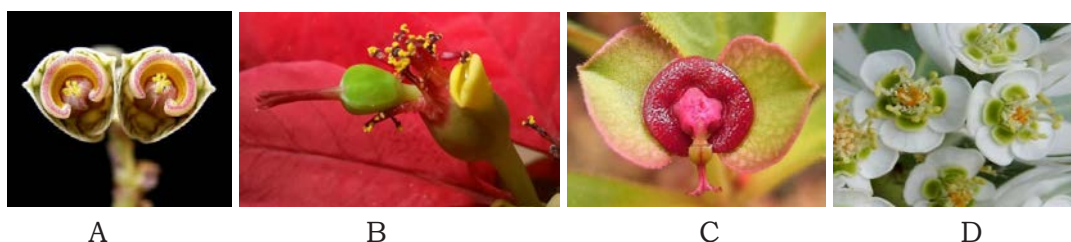


Рис. 8. Морфологічне різноманіття нектарників: А – зрощені нектарники U-подібної форми у *Euphorbia echinulata* (Stapf) Bruyns, фото Frank Vincentz (Wicimedia Commons); В – одиночний у *E. pulcherrima* (фото Н.Левчик); С – зрощені нектарники кільцеподібної форми у *E. mafingensis* (Hagr.) Bruyns, фото Frank Vincentz (Wicimedia Commons); D – нектарники з великими білими пелюсткоподібними придатками у *E. marginata* Pursh. (Коваль, 2023)



Рис. 9. А – п'ять залоз із пальчастими придатками у *Euphorbia schoenlandii* Pax (Frohning, 2012); В – шість залоз із пальчастими придатками у *Euphorbia verruculosa* N. E. Br. (Dave's Garden); С – п'ять залоз без придатків у *Euphorbia piscidermis* M.G.Gilbert (Frohning, 2012); D – серпоподібні залози з загостреними, загнутими кінцями у *Euphorbia peplus*, фото Pascal Duboc (Euphorbiacées)



Рис. 10. Цятій залежно від симетрії: А – актиноморфний у *Euphorbia* cf. *umbraculiformis* Rauh; В – зигоморфний у *E. ritchiei* (P.R.O.Bally) Bruyns.; С – сильно зигоморфний цятій з типовою нектарною шпоркою *E. pedilanthoides* Denis, фото Н. Левчик

Така форма зигоморфного циатію властива також для: *E. personata* (Croizat) V.W.Steinm., *E. tithymaloides* subsp. *padifolia* (L.) V.W.Steinm., *E. calcarata* (Schltdl.) V.W.Steinm., *E. coalcomanensis* (Croizat) V.W.Steinm., *E. cymbifera* (Schltdl.) V.W.Steinm., *E. finkii* (Boiss.) V.W.Steinm., *E. conzattii* V.W.Steinm.

Існує гіпотеза, що зигоморфний циатій секції *Pedilanthus* із нектарниками у щільно закритій циатіальній шпорці є ключовим нововведенням в процесі еволюції, який стимулював диверсифікацію та відкрив можливість запилення цих рослин птахами колибри, серед яких колибри-аметист багамський *Nesophlox evelynae* Bourcier, колибри-смарагд синьохвостий *Chlorostilbon mellisugus* L., колибри-манго антильський *Anthracothorax dominicus* L., колибри чубатий *Orthorhyncus cristatus* L., які відіграють важливу роль у перенесенні пилку, контактуючи з чоловічими та жіночими квітками під час зондування циатія на нектар та його споживання (рис.11-В). (Cacho et al., 2010; López-Marmolejo, 2023).

Два з цих п'яти нектарників *Euphorbiaceae* мають пелюсткові відростки – циатіальні листки або циатофіли – видозмінені, подібні до приквіткових листки,

які відрізняються за формою та розміром, зазвичай мають вигляд пелюсток та помилювано приймаються за квітку, оточують циатій і надають усьому складному суцвіттю загальний вигляд квітки. Циатофіли часто зустрічаються по два, із ефектним пелюсткоподібним виглядом, можуть бути яскраво забарвленими та приваблювати запилювачів, або ж навпаки маленькими до майже непомітних крихітних лусочок, і зовні їх не можливо відрізнити від типової квітки покритонасінних (Horn et al., 2012).

Циатії мають видову специфічність, пов'язану із наявністю циатофілів, їх формою, розміром та кольором. Функція циатофілів полягає в посиленні привабливості циатіїв, збільшенні їх видимості, підкресленні та виділенні групи циатіїв у центрі суцвіття (рис. 12) (Horn et al., 2012; Riina & Berry, 2012).

Деякі циатії мають спеціалізовані структури для запилення птахами, тоді як у більшості циатії мають прямостоячі циатофіли, які функціонують для захисту репродуктивних частин квітки, блокуючи доступ до нектарних залоз. Тому розвиваються деякі стерильні циатії, які функціонують лише для утворення нектару (Althobaiti, 2023).

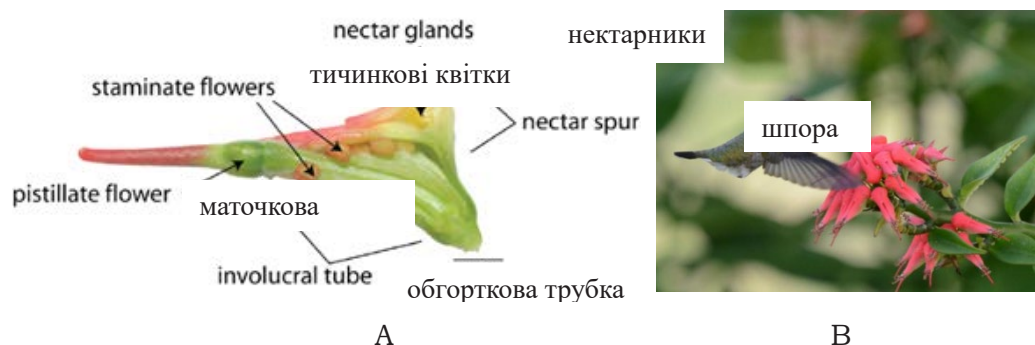


Рис. 11. А – поздовжній середній зріз шпорчастого зигоморфного циатію *Euphorbia tithymaloides* subsp. *padifolia* (L.) V.W.Steinm., шпора, що приховує нектарники (Cacho et al., 2010); В – вербеновий колибри *Mellisuga minima* запилює *E. tithymaloides*, фото Hans Krause (López-Marmolejo, 2023)



Рис. 12. Циатофіли: А – червоні у *E. milii* (Castillon, 2020); В – червоні приквіткові листки та циатофіли у *Euphorbia punicea* Sw. (Van Veldhuisen, 2006); С – зелені у *Euphorbia decaryi* var. *decaryi* (syn. *Euphorbia francoisii* Leandri var. *francoisii*) (Minuth, 2006); D – білі у *Euphorbia radians* Benth. (Van Veldhuisen, 2006)

На відміну, цілий ряд видів молочаю існують без циатофілів та кольорових приквітків (Horn et al., 2012). В інших випадках, як наприклад у *E. pulcherrima* (пуансетія) – звичайні листки під циатієм забарвлюються в червоний, білий або інші яскраві кольори для підкреслення та доповнення загального вигляду груп циатіїв у центрі (рис. 13).



Рис. 13. Забарвлені листки у *E. pulcherrima* (пуансетія) (фото Н.Левчик)

Формула квітки Euphorbiaceae тичинкової: $\sigma K_0 C_0 A_1$, маточкової: $\phi K_0 C_0 G_{[3]}$. Загальну формулу циатію можна представити, як $A_1 V G_{[3]}$, де А – андроцей, G – гінецей із верхньою

зав'яззю з трьома плодолистками, оцвітина і тичинки прикріплені до основи маточки (Якубенко та ін., 2011; Althobaiti, 2023).

Формула циатію для деяких представників родини Euphorbiaceae може варіювати. Наприклад, формула квітки видів *Jatropha* sp. має вигляд: $\sigma K_5 C_5 A_5 + 3 G_0$ та $\phi K_5 C_5 A_0 G_{[3]}$, що відображається квітковою діаграмою (рис.14).

Існує думка, що у видів *Jatropha* та *Croton* тичинки замінили плодолистки внаслідок гомеозису – процесу перетворення одного органу в інший, оскільки вони займають очікуване положення плодолистків (Ronse De Craene, 2010). У виду *Ricinus communis* формула квітки виражається: $\sigma P_{(5)} A_{\infty} G_0$ та $\phi P_{(3)} A_0 G_{[3]}$ (Althobaiti, 2023).

Після запилення та запліднення зовнішня поверхня зав'язі може бути гладенькою, рівною, неопушеною, як у *E. humifusa* Willd., *E. peplis* L. *E. polygonifolia* L., *E. glyptosperma* Engelm., *E. serpens* Kunth., *E. dendroides* L., *E. davidii* Subils., *E. lathyris* L. (рис. 15) (Tison & de Foucault, 2014).

Може бути повністю опушеною, як у *E. maculata* L., *E. characias* L., або частково опушеною на кілях, як у *E. prostrata* Aiton, з поодинокими або численними шипувато-бородавчастими виростами та

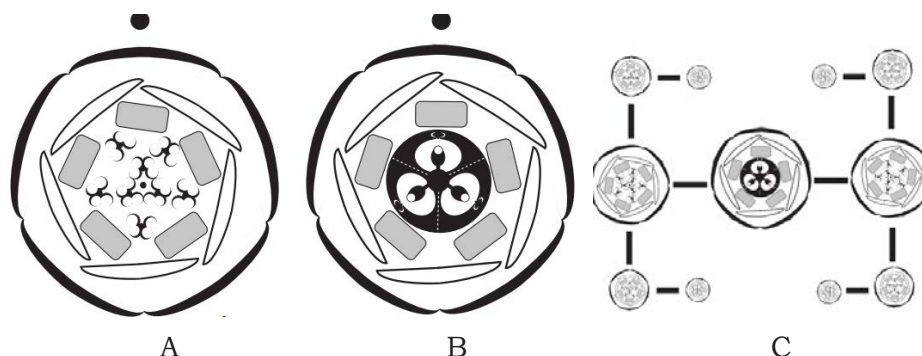


Рис. 14. Квіткова діаграма *Jatropha* sp.: А – тичинкова квітка; В – маточкова квітка; С – часткове суцвіття (Ronse De Craene, 2010)

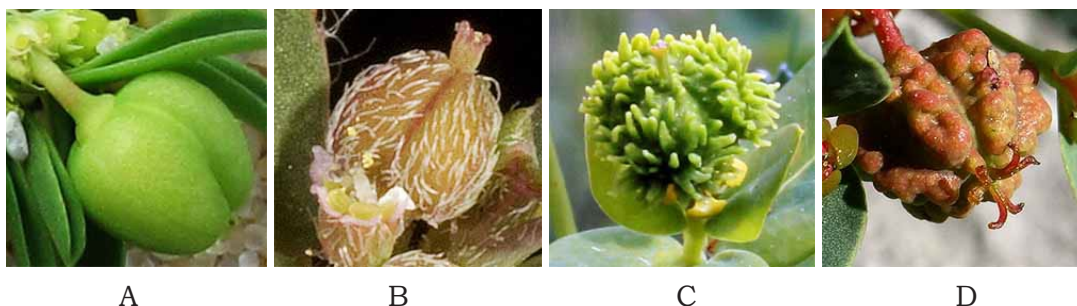


Рис. 15. Зовнішня поверхня зав'язі: А – гладенька у *E. polygonifolia*; В – опушена у *E. maculata*; С – з виростами у *E. hyberna*; D – з опуклостями у *E. pyreniaca* (Tison & de Foucault, 2014)

опуклостями, як у *E. duvalii* Lecoq & Lamotte, *E. hyberna* L., *E. palustris* L., *E. platyphyllos* L., *E. pyreniaca* Jord., *E. spinosa* L., *E. stricta* L. (рис. 15) (Tison & de Foucault, 2014).

Циатії часто об'єднуються в складніші одиниці другого порядку – суцвіття, які мають модель, що називається цимою або зонтиком (Riina & Berry, 2012). Для молочаю прутувидного *E. virgata* Walld. & Kit характерним є псевдозонтик або плеїохазій – суцвіття, в якого головна вісь закінчується квіткою, на бічних осях квітки розміщені кільчасто і кожна вісь закінчується також квіткою.

Кількісні та морфологічні характеристики квіток рослин Euphorbiaceae є однією з важливих ознак, пов'язаних з їх продуктивністю (Wijaya et al., 2009). Зазвичай співвідношення жіночих квіток до чоловічих у суцвітті достатньо мале і коливається в межах 1:25-1:30. Із наявності 10-12 шт. квіток у кожному суцвітті, в результаті загалом із приблизно 300 шт. квіток утворюється всього 8-10 шт. плодів, що яскраво свідчить про дуже низький рівень їх зав'язування (Althobaiti, 2023).

Для прикладу, середня кількість жіночих квіток ятрофи *J. curcas* L. становить 5,2 квітки на суцвіття, тоді як чоловічих квіток – 68,20, що у співвідношенні становить 13,34. Низька кількість жіночих та велика кількість чоловічих квіток негативно впливає на врожайність, спричиняючи низьку продуктивність ятрофи. Отже, співвідношення чоловічих, жіночих квіток та відповідно маса насіння на рослину родини Euphorbiaceae мають пряму кореляцію із урожаєм (Wijaya et al., 2009). Це співвідношення обов'язково має враховуватись під час культивування рослин із промисловою метою.

Теорії походження циатію. Унікальність циатію та його морфологічне посередництво роблять його хорошим об'єктом для оцінки питання про еволюцію квіток і суцвіт'я у Euphorbiaceae (Prenner & Rudall, 2007).

Існує декілька гіпотез можливих шляхів еволюції циатію у родині Euphorbiaceae. Одна із них говорить, що циатій може бути похідним від роду *Anthostema* A. Juss., походженням з Африки та о. Мадагаскар – подібного сильно згущеного тирсу, який закінчується трійчастою жіночою квіткою та спіральню оточеними дихазіальними чоловічими частковими суцвіттями.

Інша гіпотеза припускає походження від подібного, але схожого роду *Dichostemma*

Pierre, розповсюдженого від Нігерії до Західної Центральної Тропічної Африки, що має тирс з кінцевою чотиричленною жіночою квіткою та частковими чоловічими суцвіттями в перехресному філотаксисі.

Однією із найбільш відомих офіційних теорій на сьогодні є твердження, що циатій Euphorbiaceae еволюціонував з більш відкритого угруповання квіток, яке називається тирс, сформувався шляхом сильного згущення суцвіття, пагонів, квіток та можливого перекриття між зонами експресії регуляторних генів, які зазвичай контролюють особливі ознаки окремих квіток. Циатій не є ні квіткою, ні суцвіттям, має «гібридну» природу між квіткою та суцвіттям (Narbona et al., 2002; Prenner & Rudall, 2007; Riina & Berry, 2012).

Існує також думка, що ця «гібридна» структура є результатом часткової втрати ідентичності меристеми квітки, і тому поєднує ознаки квітки та суцвіття. Або ж має місце найменш правдоподібна, неортодоксальна, суперечлива гіпотеза, що циатій – це справжня квітка-гермафродит з унікальним поєднанням особливостей (Prenner et al., 2008).

Сьогодні ж встановлено, що родина Euphorbiaceae має зв'язки з Flacourtiaceae, Malvaceae та Urticaceae, навіть якщо ці зв'язки можуть здатися нечіткими та другорядними. Молекулярні дані свідчать, що Euphorbiaceae включає три основні лінії, які відносно віддалені одна від одної: типову лінію Phyllanthoideae, лінію Putranjivoideae та лінію Euphorbiaceae. А також підродини: Phyllanthoideae, Crotonoideae, Bridelioideae, Euphorbioideae (Plantes Botanique, 2002-2025; Dorsey, 2013).

Встановлено, що видам Euphorbiaceae для підтримання стабільності популяцій в угрупованнях та екосистемах властива r-стратегія способу виживання. Згідно з цією стратегією, для виживання рослинами витрачається більше часу, фіксованої енергії та ресурсів на репродуктивні фази, ніж на вегетативні фази. Крім того, спосіб поширення насіння за допомогою вибухового механізму шизокарпічних плодів сприяє швидкому розповсюдженню рослин, захопленню територій та їх здатності проникати на оброблені поля, узбіччя доріг та пустирі (Bolaji et al., 2020). Як правило, трав'янисті рослини є r-стратегіями в порівнянні із деревними видами.

Отже, можемо підсумувати, що на сучасний момент у літературних джерелах висвіт-

лено результати проведених досліджень генеративної сфери та накопичено певний науковий досвід про морфолого-біологічні особливості унікального виду цимоїдного суцвіття рослин родини Euphorbiaceae – циатію. Ці знання є теоретичним підґрунтям для продовження досліджень в напрямку інтродукції та акліматизації перспективних видів родини Euphorbiaceae в нових погодно-кліматичних умовах України. Ефективність розмноження, гнучкість обмінних процесів, пристосувальницька стратегія рослин Euphorbiaceae до змін погодно-кліматичних та екологічних умов робить ці рослини конкурентоспроможними у фітоценозах, а на майбутнє – цінним джерелом сировини для паливної та численних галузей промисловості, фармацевтики, харчування, побуту та ландшафтного дизайну України.

Висновки

1. Представники Euphorbiaceae мають космополітичне поширення та характеризуються різними типами фотосинтезу (C₃, C₄, CAM). Вони є джерелом латексу й вторинних метаболітів, вирізняються лікувальними властивостями та декоративними формами габітусу, що визначає їх перспективність для промислового, фармацевтичного й побутового використання в Україні. Водночас багато видів є токсичними та належать до агресивних бур'янів.

2. Циатій є унікальним, типовим для Euphorbiaceae видом цимоїдного суцвіття, що має чашоподібну структуру, утворену зрощеними приквітками. Він включає одну жіночу квітку з синкарпним гінецеєм і тригніздою зав'язю на довгій ніжці та чотири-п'ять редукованих чоловічих монохазіїв або дихазіїв. Характерними ознаками

є наявність позаквіткових нектарників і пелюсткових придатків різної морфології, а також редукована або відсутня оцвітина.

3. Чоловіча квітка Euphorbiaceae характеризується наявністю однієї вільної тичинки, об'єднаної у пучки. Кількість та морфологічні особливості тичинок становлять видоспецифічну діагностичну ознаку.

4. Циатії Euphorbiaceae становлять видоспецифічну морфологічну ознаку, що варіює за кількістю та будовою обгорткових залоз і залозистих придатків, зберігаючи актиноморфну симетрію або набуваючи зигоморфності.

5. Зав'язь представників Euphorbiaceae характеризується видоспецифічною морфологією, що варіює за типом поверхні, ступенем опушення та наявністю виростів і опуклостей. Низьке співвідношення жіночих квіток до чоловічих у суцвітті зумовлює надзвичайно низький рівень плодоношення, що ускладнює процеси статевого розмноження.

6. Циатій Euphorbiaceae, за усталеною концепцією, походить від угруповання квіток тирсу та сформувався внаслідок інтенсивного згущення суцвіття, пагонів і квіток, а також можливого перекриття зон експресії регуляторних генів. Він не належить ані до квітки, ані до суцвіття, а має проміжну, «гібридну» природу між цими структурами.

7. Аналіз наукових досліджень морфолого-біологічних особливостей розмноження та циатію, як характерного для Euphorbiaceae цимоїдного суцвіття, створює підґрунтя для подальших робіт у напрямку інтродукції та промислового використання цих рослин як джерела цінної сировини для енергетики, фармацевтики, харчової та інших галузей промисловості України.

Список використаної літератури

- Бесеганич І. В. Фармацевтична ботаніка. Лабораторний практикум. Частина 1. Анатомія і морфологія рослин. Ужгород, 2015. 88 с.
- Бессонова В.П., Яковлева-Носарь С.О. Фізіологія рослин. Навчальний посібник. Дніпропетровськ: «Свідлер А.А.», 2014. 500с.
- Гайдаржи М. М., Нікітіна В. В., Калашник С. О. Колекція сукулентних рослин родини Euphorbiaceae A. L. Jussieu в Ботанічному саду ім. акад. О. В. Фоміна. Вісник Київського університету імені Тараса Шевченка. Інтродукція та збереження рослинного різноманіття. 2007. Вип. 11. С. 11–13.
- Зиман С.М., Мосякін С.А., Булах О.В., Царенко О.М., Фельбаба-Клушина Л.М. Ілюстрований довідник з морфології квіткових рослин. Навчально-методичний посібник. Ужгород: Медіум, 2004. 156 с.
- Іващенко О. О., Іващенко О. О. Загальна гербологія: монографія. НААН, Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків, Інститут захисту рослин НААН. Київ: Фенікс, 2019. 752 с.
- Калашник С. О., Гайдаржи М. М. Систематика, морфологія та біохімічні особливості рослин роду *Euphorbia* L. (Euphorbiaceae). Інтродукція рослин. 2008. № 4. С. 66–71.
- Коваль О. Фітохімічне дослідження молочаю облямованого: кваліфікаційна робота спеціальності 226 Фармація, промислова фармація освітньої програми Фармація. Харків, 2023. 63 с.

[Електронний ресурс]. URL: <https://dspace.nuph.edu.ua/bitstream/123456789/29598/1/Коваль%20Олена%2С%2008.02.23.pdf> (дата звернення 26.01.2026)

Колесніков М., Пащенко Ю. Біохімія та фізіологія рослин. Малий практикум: навчально-методичний посібник. Мелітополь: ТДАТУ, 2022. 226 с.

Левчик Н. Я., Заіменко Н. І., Горбенко Н. Є., Скрипка Г. І. Традиції, можливості та перспективи застосування рослин родини Молочайні (Euphorbiaceae Juss.) у промисловості, медицині, побуті та у виробництві продуктів харчування. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 10. С. 7–30. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.1>.

Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин: підручник / За ред. проф. М. М. Макрушина. Вінниця: Нова Книга, 2006. 416 с.

Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: підручник. Київ: Фітосоціоцентр, 2001. 392 с.

Нечитайло В. А., Кучерява Л. Ф. Ботаніка. Вищі рослини. Київ: Фітосоціоцентр, 2005. 432 с.

Новіков А., Барабаш-Красни Б. Сучасна систематика рослин. Загальні питання: навчальний посібник. Львів: Ліга-Прес, 2015. 686 с.

Федорончук М. Чекаїст флори України. 10: родини Euphorbiaceae, Phyllanthaceae (Euphorbiales, Angiosperms). *Чорноморський Ботанічний Журнал*. 2024. Vol. 20. № 2. 111–123. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2024-20-2-1>.

Якубенко Б. Є., Царенко М. П., Алейніков І. М., Шабарова С. І., Машковська С. П., Дядюша Л. М., Тертишний А. П. Ботаніка з основами гідроботаніки (водні рослини України): підручник для студентів класичних та аграрних університетів. Київ: Фітосоціоцентр, 2011. 535 с.

Althobaiti A. T. Taxonomic Studies on Family Euphorbiaceae Based on Some Morphological, Biochemical and Molecular Characteristics. *Journal of Advanced Zoology*. 2023. Vol. 44. № S-6. P. 1801–1823. <https://doi.org/10.17762/jaz.v44iS6.2621>.

Amasino R. M. Florigen and the Genetics of Flowering. *Plant Physiology*. 2010. Vol. 154. №1. P. 1–7. <https://doi.org/10.1104/pp.110.161021>.

Bolaji A. O., Idowu-Aiye M., & Moronfade H. O. Reproductive Biology of four weedy *Euphorbia* species from Ile-Ife, Nigeria. *Ife Journal of Science*. 2020. Vol. 22. № 1. P. 1–8. <https://doi.org/10.4314/ij.s.v22i1.1>.

Boeiro M., Serrano A. R. M., Rego C., & Espadaler X. Plant fecundity and pre-dispersal reproductive losses in a common and a rare *Euphorbia* species (Euphorbiaceae). *Ecological Research*. 2010. Vol. 25. № 2. P. 447–456. <https://doi.org/10.1007/s11284-009-0674-6>.

Boeiro M.R.C. *Spatio-Temporal Variation in Seed Production in Three Euphorbia Species and the Role of Animals on Seed Fate* : PhD thesis, Universidade da Madeira, 2012. CORE. [Електронний ресурс]. URL: https://docslib.org/doc/5422679/spatio-temporal-variation-in-seed-production-in-three-euphorbia-species-and-the-role-of-animals-on-seed-fate-tese-de-doutoramento#google_vignette (дата звернення 09.04.2026).

Cacho I. N., Berry P. E., Olson M. E., Steinmann V. W., & Baum D. A. Are spurred cyathia a key innovation? Molecular systematics and trait evolution in the slipper spurge (*Pedilanthus* clade: *Euphorbia*, Euphorbiaceae). *American Journal of Botany*. 2010. Vol. 97. № 3. P. 493–510. <https://doi.org/10.3732/ajb.0900090>

Castillon J.-P., & Castillon J.-B. On *Euphorbia milii* (Euphorbiaceae) and its varieties. *Euphorbia World*. 2020. Vol. 16. № 3. P. 5–10.

Claßen-Bockhoff R., & Frankenhäuser H. The ‘Male Flower’ of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) Interpreted as a Multi-Flowered Unit. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. 2020. Vol. 8. Article 313. P. 1–15. <https://doi.org/10.3389/fcell.2020.00313>.

Dave's Garden. (n.d.). [Електронний ресурс]. URL: <https://davesgarden.com/guides/articles/view/3208/> (дата звернення 26.01.2026).

Dorsey B. *Phylogenetics and Morphological Evolution of Euphorbia subgenus Euphorbia*: PhD dissertation, University of Michigan, 2013. 174 p. Deep Blue. [Електронний ресурс]. URL: https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/97788/bdorsey_1.pdf?sequence=1 (дата звернення 26.01.2026).

Euphorbiacées. Clef des Euphorbiacées d'Auvergne/Limousin. [Електронний ресурс]. URL: http://claudel.dopp.free.fr/La_Bota/Cles/euphorbiaceae/Euphorbiaceae_cle_Auvergne-Limousin.pdf (дата звернення 26.01.2026).

Frohning H. Digital stereo macro photography + photo stacking: a modern tool for botanic studies. *Euphorbia world*. 2012. Vol. 8. №1. P. 25–26.

- Gagliardi K. B., Cordeiro I., & Demarco D. Structure and development of flowers and inflorescences in Peraceae and Euphorbiaceae and the evolution of pseudanthia in Malpighiales. *PLOS ONE*. 2018. Vol. 13. № 10, e0203954. P. 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203954>.
- Grímsson F., Meller B., Bouchal J. M., & Zetter R. Combined LM and SEM study of the middle Miocene (Sarmatian) palynoflora from the Lavanttal Basin, Austria: part III. Magnoliophyta 1 – Magnoliales to Fabales. *Grana*. 2015. Vol. 54. № 2. P. 85–128. <https://doi.org/10.1080/00173134.2015.1007081>.
- Guyanensis S. *Les diterpènes d'Euphorbiaceae: origine biosynthétique et intérêts pharmaceutiques*: Thèse le Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, Université de Lorraine faculté de pharmacie, 2017. Université de Lorraine. [Електронний ресурс]. URL: http://docnum.univ-lorraine.fr/public/BUPHA_T_2017_REMY_SIMON.pdf (дата звернення 26.01.2026).
- Horn J. W., van EE B. W., Morawetz J. J., Riina R., Steinmann V. W., Berry P. E., & Wurdack K. J. Phylogenetics and the evolution of major structural characters in the giant genus *Euphorbia* L. (Euphorbiaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2012. Vol. 63. № 2. P. 305–326. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2011.12.022>.
- HQ Flower Guide. (n.d.). *Flickr*. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.flickr.com/people/nhq9801/> (дата звернення 26.01.2026).
- López-Marmolejo C. Colibríes como posibles agentes de selección sobre la morfología floral de *Euphorbia tithymaloides* L. en el Caribe: PhD thesis, Universidad National Autónoma de México, 2023. 98 p.
- Ma, J.-S., & Gilbert, M. G. *Euphorbia*. In Z. Y. Wu, P. H. Raven, & D. Y. Hong (Eds.), *Flora of China*. 2008. Vol. 11, P. 288–313. Science Press & Missouri Botanical Garden Press.
- Mali P. Y., & Panchal S. S. *Euphorbia tirucalli* L.: Review on morphology, medicinal uses, phytochemistry and pharmacological activities. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2017. Vol. 7. № 7. P. 603–613. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.06.002>.
- Minuth W. In Habitat. *Euphorbia World*. 2006. Vol. 2. № 2. P. 16–18.
- Mwine J. T. Evaluation of Pesticidal Properties of *Euphorbia tirucalli* L. (Euphorbiaceae) against Selected Pests: PhD thesis, Ghent University, Belgium, 2011. 145 p.
- Narbona E., Ortiz P. L., & Arista M. Functional Andromonoecy in *Euphorbia* (Euphorbiaceae). *Annals of Botany*. 2002. Vol. 89. № 5. P. 571–577. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf099>.
- Pandey B. P. College Botany (Vol. II). New Delhi: S. Chand & Company Ltd., 2008 [Електронний ресурс]. URL: <http://www.vpscience.org/materials/US03CBOT22%20-%20III.pdf> (дата звернення 26.01.2026).
- PlantesBotanique(2002–2025). [Електронний ресурс]. URL: https://www.plantes-botanique.org/famille_euphorbiaceae (дата звернення 26.01.2026).
- POWO. Plants of the world Online. [Електронний ресурс]. URL: <https://powo.science.kew.org/> (дата звернення 26.01.2026).
- Prenner G., Rudall P. J. Comparative ontogeny of the cyathium in *Euphorbia* (Euphorbiaceae) and its allies: Exploring the organ-flower-inflorescence boundary. *American Journal of Botany*. 2007. Vol. 94. № 10. P. 1612–1629. <https://doi.org/10.3732/ajb.94.10.1612>.
- Prenner G., Box M. S., Cuniff J., & Rudall P. J. The Branching Stamens of *Ricinus* and the Homologies of the Angiosperm Stamen Fascicle. *International Journal of Plant Sciences*. 2008. Vol. 169. № 6. P. 735–744. <https://doi.org/10.1086/588071>.
- Riina R., Berry P.E. (coordinators). Current year. *Euphorbia* Planetary Biodiversity Inventory Project, 2012 [Електронний ресурс]. URL: https://euphorbiaceae.org/pages/data_portal.html (дата звернення 26.01.2026).
- Ronse de Craene L. P. *Floral Diagrams An Aid to Understanding Flower Morphology and Evolution*. Cambridge University Press, 2010. 441 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511806711>.
- Schnabel D. H. Diversity in unity: The *Euphorbia stellata* species complex. *Euphorbia World*. 2023. Vol. 18. № 3. P. 32–41.
- Shixiong Yang, Mao L., Zheng Z., Chen B., & Li J. Pollen Atlas for Selected Subfamilies of Euphorbiaceae from Southern China: A Complementary Contribution to Quaternary Pollen Analysis. *Palynology*. 2019. Vol. 44. № 4. P. 659–673. <https://doi.org/10.1080/01916122.2019.1658235>.
- Steinmann V. W., van Ee B., Berry P. E., & Gutiérrez J. The systematic position of *Cubantus* and other shrubby endemic species of *Euphorbia* (Euphorbiaceae) in Cuba. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. 2007. Vol. 64. № 2. P. 123–133. <https://doi.org/10.3989/ajbm.2007.v64.i2.167>.
- Taiz L., Zeiger E., Møller I. M., & Murphy A. *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates. 2015. 761 p.

Tison J.-M., & de Foucault B. FLORA GALLICA: Flore de France. *Biotope Éditions, Societe botanique de France*. 2014. 1196 p.

The Encyclopedia of SUCCULENTS. [Electronic resource] URL: https://lilfe.com/Encyclopedia/SUCCULENTS/Family/Euphorbiaceae/27173/Euphorbia_tubiglans (дата звернення 26.01.2026).

Van Damme P. Destructive and non-destructive methods for determining stem and leaf areas on *Euphorbia tirucalli* L. *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent*. 1985. Vol. 37. P. 1369-1382.

Van Veldhuisen R. Some notes on *Euphorbia punicea* Swartz and related species. *Euphorbia world*. 2006. Vol. 1. № 3. P. 5-8.

Van Welzen P. C. Revisions and phylogenies of Malesian Euphorbiaceae: Subtribe Lasiococcinae (*Homonoia*, *Lasiococca*, *Spathiostemon*) and *Clonostylis*, *Ricinus*, and *Wetria*. *Blumea*. 1998. Vol. 43, P. 131-164. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.nationaalherbarium.nl/Euphorbs/specR/Ricinus.htm> (дата звернення 26.01.2026).

Webster G. L. Classification of the Euphorbiaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 1994a. Vol. 81. № 1. P. 3-32.

Webster G. L. Synopsis of the genera and suprageneric taxa of Euphorbiaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 1994b. Vol. 81. № 1. P. 33-144.

Webster G. L. Euphorbiaceae. In K. Kubitzki (Ed.), *The Families and Genera of Vascular Plants*. Springer, 2013. Vol. 11, P. 51-216.

WFO The world flora online. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000019533#citation20> (дата звернення 26.01.2026).

Wicimedia Commons. [Електронний ресурс]. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:E_echinulata_ies.jpg (дата звернення 26.01.2026).

Wijaya A., Susanti D., Harun M. U., & Hawalid H. Flower Characteristics and the Yield of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) Accessions. *HAYATI Journal of Biosciences*. 2009. Vol. 16. № 4. P. 123-126. <https://doi.org/10.4308/hjb.16.4.123>.

Yang Y., Riina R., Morawetz J. J., Haevermans T., Aubriot X., & Berry P. E. Molecular phylogenetics and classification of *Euphorbia* subgenus *Chamaesyce* (Euphorbiaceae). *Taxon*. 2012. Vol. 61. № 4. P. 764-789. <https://doi.org/10.1002/tax.614005>.

References

Besehanych, I. V. (2015). Farmatsevtichna botanika. Laboratornyi praktykum. Chastyna 1. Anatomii i morfolohii roslin [Pharmaceutical Botany Laboratory Practical. Part 1. Anatomy and Morphology of Plants]. Uzhhorod, 88 p. [in Ukrainian].

Bessonova, V. P., & Yakovlieva-Nosar, S. R. (2014). Fiziolohii roslin. Navchalnyi posibnyk [Plant Physiology. Textbook]. *Dnipropetrovsk*: Svidler A.L., 500 p. [in Ukrainian].

Haidarzhly, M. M., Nikitina, V. V., & Kalashnyk, S. O. (2007). Kolektsiia sukulentnykh roslin rodyny Euphorbiaceae A.L. Jussieu v Botanichnomu sadu im akad.O.V. Fomina [Collection of succulent plants of the Euphorbiaceae family A.L. Jussieu in the Botanical Garden named after Academician O.V. Fomin]. *Biuleten Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Vvedennia ta zberezhenia riznomanittia roslin* [Bulletin of the Taras Shevchenko Kyiv University. Introduction and conservation of plant diversity], 11, 11-13 [in Ukrainian].

Zyman, S. M., Mosiakin, S. L., Bulakh, O. V., Tsarenko, O. M., & Felbaba-Klushyna, L. M. (2004). Iliustrovanyi dovidnyk z morfolohii kvitkovykh roslin. Navchalno-metodychnyi posibnyk [Illustrated Handbook on the Morphology of Flowering Plants. Teaching and Methodological Guide]. Uzhhorod: *Medium*, 156 p. [in Ukrainian].

Ivashchenko, O. O., & Ivashchenko, O. O. (2019). Zahalna herbolohiia: monohrafiia [General Herbology: Monograph]. Kyiv: Phoenix, 752 p. [in Ukrainian].

Kalashnyk, S. O., & Haidarzhly, M. M. (2008). Systematyka, morfolohiia ta biokhimichni osoblyvosti roslin rodu *Euphorbia* L. (Euphorbiaceae) [Systematics, morphology and biochemical features of plants of the genus *Euphorbia* L. (Euphorbiaceae). *Introduktsiia roslin* [Introduction of plants], 4, 66-71 [in Ukrainian].

Koval, O. (2023). Fitokhimichne doslidzhennia molochaiu obliamovanoho [Phytochemical study of milk thistle] [Qualification work]. Kharkiv National University of Pharmacy, 63p. [in Ukrainian].

Kolesnikov, M. O., & Pashchenko, Yu. P. (2022). Biokhimii ta fiziolohii roslin. Maliy praktykum: Navchalno-metodychnyi posibnyk [Biochemistry and physiology of plants. Small practical course: Teaching and methodical manual]. Melitopol: TDATU, 226 p. [in Ukrainian].

- Levchyk, N. Ya., Zaimenko, N. I., Horbenko, N. Ie., & Skrypka, H. I. (2024). Tradytsii, mozhlyvosti ta perspektyvy zastosuvannya roslyn rodyny Molochaini (Euphorbiaceae Juss.) u promyslovosti, medytsyni, pobuti ta u vyrobnytstvi produktiv kharchuvannya [Traditions, possibilities and prospects of using plants of the family Euphorbiaceae (Euphorbiaceae Juss.) in industry, medicine, everyday life and in food production]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychukh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 10, 7–30. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.1> [in Ukrainian].
- Makrushyn, M. M., Makrushyna, Ye. M., Peterson, N. V., & Melnykov, M. M. (2006). Fiziologhiia Roslyn [Plant Physiology]. Vinnytsia: Nova Knyga, 416 p. [in Ukrainian].
- Musiienko, M. M. (2001). Fiziologhiia roslyn: Pidruchnyk [Plant Physiology: Textbook]. Kyiv: Phytosociotsentre, 392 p. [in Ukrainian].
- Nechytailo, V. A., & Kucheriava, L. F. (2005). Botanika. Vyshchi roslyny [Botany. Higher plants]. Kyiv: Phytosociotsentre, 432 p. [in Ukrainian].
- Novikov, A., & Barabash-Krasny, B. (2015). Suchasna systematyka roslyn. Zahalni pytannia: navchalnyi posibnyk [Modern Plant Taxonomy. General Questions: Textbook]. Lviv: Liga-Press, 686 p. [in Ukrainian].
- Fedoronchuk, M. (2024). Checklist flory Ukrainy. 10: rodyny Euphorbiaceae, Phyllanthaceae (Euphorbiales, Angiosperms). [Ukrainian flora checklist. 10: families Euphorbiaceae, Phyllanthaceae (Euphorbiales, Angiosperms)]. *Chornomorskyi Botanichnyi Zhurnal [Chornomorski Botanical Journal]*, 20(2), 111–123. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2024-20-2-1> [in Ukrainian].
- Yakubenko, B. Ie., Tsarenko, M. P., Aleinikov, I. M., Shabarova, S. I., Mashkovska, S. P., Diadiusha, L. M., & Tertyshnyi, A. P. (2011). Botanika z osnovamy hidrobotaniky (vodni roslyny Ukrainy). Pidruchnyk dlia studentiv klasychnykh ta ahrarnykh universytetiv [Botany with the basics of hydrobotany (aquatic plants of Ukraine). Textbook for students of classical and agricultural universities]. Kyiv: Phytosociotsentre, 535 p. [in Ukrainian].
- Althobaiti, A. T. (2023). Taxonomic Studies on Family Euphorbiaceae Based on Some Morphological, Biochemical and Molecular Characteristics. *Journal of Advanced Zoology*, 44(S-6), 1801–1823. <https://doi.org/10.17762/jaz.v44iS6.2621> [in English].
- Amasino, R. M. (2010). Florigen and the Genetics of Flowering. *Plant Physiology*, 154(1), 1–7. <https://doi.org/10.1104/pp.110.161021> [in English].
- Bolaji, A. O., Idowu-Aiye, M., & Moronfade, H. O. (2020). Reproductive Biology of four weedy *Euphorbia* species from Ile-Ife, Nigeria. *Ife Journal of Science*, 22(1), 1–8. <https://doi.org/10.4314/ij.s.v22i1.1> [in English].
- Boeiro, M., Serrano, A. R. M., Rego, C., & Espadaler, X. (2010). Plant fecundity and pre-dispersal reproductive losses in a common and a rare *Euphorbia* species (Euphorbiaceae). *Ecological Research*, 25(2), 447–456. <https://doi.org/10.1007/s11284-009-0674-6> [in English].
- Boeiro, M.R.C. (2012). *Spatio-Temporal Variation in Seed Production in Three Euphorbia Species and the Role of Animals on Seed Fate* [PhD thesis, Universidade da Madeira]. CORE. [Electronic resource] URL: https://docslib.org/doc/5422679/spatio-temporal-variation-in-seed-production-in-three-euphorbia-species-and-the-role-of-animals-on-seed-fate-tese-de-doutoramento#google_vignette (accessed 09.04.2026) [in English].
- Cacho, I. N., Berry, P. E., Olson, M. E., Steinmann, V. W., & Baum, D. A. (2010). Are spurred cyathia a key innovation? Molecular systematics and trait evolution in the slipper spurges (*Pedilanthus* clade: *Euphorbia*, Euphorbiaceae). *American Journal of Botany*, 97(3), 493–510. <https://doi.org/10.3732/ajb.0900090> [in English].
- Castillon, J.-P., & Castillon, J.-B. (2020). On *Euphorbia milii* (Euphorbiaceae) and its varieties. *Euphorbia World*, 16(3), 5–10 [in English].
- Claßen-Bockhoff, R., & Frankenhäuser, H. (2020). The ‘Male Flower’ of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) Interpreted as a Multi-Flowered Unit. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 8, 313. <https://doi.org/10.3389/fcell.2020.00313> [in English].
- Dave’s Garden. [Electronic resource] URL: <https://davesgarden.com/guides/articles/view/3208/> (accessed 26.01.2026) [in English].
- Dorsey, B. (2013). Phylogenetics and Morphological Evolution of *Euphorbia* subgenus *Euphorbia* [PhD dissertation, University of Michigan] Brian L. Dorsey, 174 p. [Electronic resource] URL: https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/97788/bdorsey_1.pdf?sequence=1 (accessed 26.01.2026) [in English].
- Euphorbiacées. Clef des Euphorbiacées d’Auvergne/Limousin [Key to the Euphorbiaceae of Auvergne/Limousin]. [Electronic resource] URL: http://claudel.dopp.free.fr/La_Bota/Cles/euphorbiaceae/Euphorbiaceae_cle_Auvergne-Limousin.pdf (accessed 26.01.2026) [in French].

- Frohning, H. (2012). Digital stereo macro photography + photo stacking: a modern tool for botanic studies. *Euphorbia world*, 8(1), 25–26 [in English].
- Gagliardi, K. B., Cordeiro, I., & Demarco, D. (2018). Structure and development of flowers and inflorescences in Peraceae and Euphorbiaceae and the evolution of pseudanthia in Malpighiales. *PLOS ONE*, 13(10), e0203954, 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203954> [in English].
- Grímsson, F., Meller, B., Bouchal, J. M., & Zetter, R. (2015). Combined LM and SEM study of the middle Miocene (Sarmatian) palynoflora from the Lavanttal Basin, Austria: part III. Magnoliophyta 1 – Magnoliales to Fabales. *Grana*, 54(2), 85–128. <https://doi.org/10.1080/00173134.2015.1007081> [in English].
- Guyanensis, S. (2017). Les diterpènes d'Euphorbiaceae: origine biosynthétique et intérêts pharmaceutiques [Euphorbiaceae diterpenes: biosynthetic origin and pharmaceutical applications] Thèse le Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, Université de Lorraine faculté de pharmacie [Thesis for the State Diploma of Doctor of Pharmacy, University of Lorraine, Faculty of Pharmacy]. Université de Lorraine. [Electronic resource] URL: http://docnum.univ-lorraine.fr/public/UBPHA_T_2017_REMY_SIMON.pdf (accessed 26.01.2026) [in Franch].
- Horn, J. W., van Ee, B. W., Morawetz, J. J., Riina, R., Steinmann, V. W., Berry, P. E., & Wurdack, K. J. (2012). Phylogenetics and the evolution of major structural characters in the giant genus *Euphorbia* L. (Euphorbiaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 63(2), 305–326. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2011.12.022> [in English].
- HQ Flower Guide. *Flickr*. [Electronic resource] URL: <https://www.flickr.com/people/nhq9801/> (accessed 26.01.2026) [in English].
- López-Marmolejo, C. (2023). Colibríes como posibles agentes de selección sobre la morfología floral de *Euphorbia tithymaloides* L. en el Caribe [Hummingbirds as possible selection agents on the floral morphology of *Euphorbia tithymaloides* L. in the Caribbean] PhD thesis, Universidad Nacional Autónoma de México [PhD thesis, National Autonomous University of Mexico], 98 p. [in Spanish].
- Ma, J.-S., & Gilbert, M. G. (2008). *Euphorbia*. In Z. Y. Wu, P. H. Raven, & D. Y. Hong (Eds.), *Flora of China*, Vol. 11, P. 288–313. Science Press & Missouri Botanical Garden Press. [in English].
- Mali, P. Y., & Panchal, S. S. (2017). *Euphorbia tirucalli* L.: Review on morphology, medicinal uses, phytochemistry and pharmacological activities. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7(7), 603–613. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.06.002> [in English].
- Minuth W. (2006). In Habitat. *Euphorbia World*, Vol. 2, № 2, P. 16–18 [in English].
- Mwine, J. T. (2011). *Evaluation of Pesticidal Properties of Euphorbia tirucalli* L. (Euphorbiaceae) against Selected Pests [PhD thesis, Ghent University, Belgium], 145 pp. [in English].
- Narbona, E., Ortiz, P. L., & Arista, M. (2002). Functional Andromonoecy in *Euphorbia* (Euphorbiaceae). *Annals of Botany*, 89(5), 571–577. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf099> [in English].
- Pandey, B. P. (2008). College Botany (Vol. II). New Delhi: S. Chand & Company Ltd. [Electronic resource] URL: <http://www.vpscience.org/materials/US03CBOT22%20-%20III.pdf> (accessed 26.01.2026) [in English].
- Plantes Botanique (2002–2025). [Electronic resource] URL: https://www.plantes-botanique.org/famille_euphorbiaceae (accessed 26.01.2026) [in English].
- POWO. Plants of the World Online. [Electronic resource] URL: <https://powo.science.kew.org/> (accessed 26.01.2026) [in English].
- Prenner, G., & Rudall, P. J. (2007). Comparative ontogeny of the cyathium in *Euphorbia* (Euphorbiaceae) and its allies: Exploring the organ–flower–inflorescence boundary. *American Journal of Botany*, 94(10), 1612–1629. <https://doi.org/10.3732/ajb.94.10.1612> [in English].
- Prenner, G., Box, M. S., Cunniff, J., & Rudall, P. J. (2008). The Branching Stamens of *Ricinus* and the Homologies of the Angiosperm Stamen Fascicle. *International Journal of Plant Sciences*, 169(6), 735–744. <https://doi.org/10.1086/588071> [in English].
- Riina, R. and Berry, P.E. (coordinators). (2012). Current year. *Euphorbia* Planetary Biodiversity Inventory Project. [Electronic resource]. URL: https://euphorbiaceae.org/pages/data_portal.html (accessed 26.01.2026) [in English].
- Ronse de Craene, L. P. (2010). *Floral Diagrams An Aid to Understanding Flower Morphology and Evolution*. Cambridge University Press, 441 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511806711> [in English].
- Schnabel, D. H. (2023). Diversity in unity: The *Euphorbia stellata* species complex. *Euphorbia World*, 18(3), 32–41. [in English].

- Shixiong, Yang, Mao, L., Zheng, Z., Chen, B., & Li, J. (2019). Pollen Atlas for Selected Subfamilies of Euphorbiaceae from Southern China: A Complementary Contribution to Quaternary Pollen Analysis. *Palynology*, 44(4), 659–673. <https://doi.org/10.1080/01916122.2019.1658235> [in English].
- Steinmann, V. W., van Ee, B., Berry, P. E., & Gutiérrez, J. (2007). The systematic position of *Cubantus* and other shrubby endemic species of *Euphorbia* (Euphorbiaceae) in Cuba. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 64(2), 123–133. <https://doi.org/10.3989/ajbm.2007.v64.i2.167> [in English].
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates [in English].
- Tison, J.-M., & de Foucault, B. (2014). FLORA GALLICA: Flore de France. *Biotope Éditions, Société botanique de France*, 1196 p. [in English].
- The Encyclopedia of SUCCULENTS. [Electronic resource] URL: https://lilfe.com/Encyclopedia/SUCCULENTS/Family/Euphorbiaceae/27173/Euphorbia_tubiglans (accessed 26.01.2026) [in English].
- Van Damme, P. (1985). Destructive and non-destructive methods for determining stem and leaf areas on *Euphorbia tirucalli* L. *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent*, 37, 1369–1382 [in English].
- Van Veldhuisen, R. (2006). Some notes on *Euphorbia punicea* Swartz and related species. *Euphorbia world*, 1(3), 5–8. [in English].
- Van Welzen, P. C. (1998). Revisions and phylogenies of Malesian Euphorbiaceae: Subtribe Lasiococcinae (*Homonoia*, *Lasiococca*, *Spathiostemon*) and *Clonostylis*, *Ricinus*, and *Wetria*. *Blumea*, 43, 131–164. [Electronic resource] URL: <https://www.nationaalherbarium.nl/Euphorbs/specR/Ricinus.htm> (accessed 26.01.2026) [in English].
- Webster, G. L. (1994a). Classification of the Euphorbiaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 81(1), 3–32 [in English].
- Webster, G. L. (1994b). Synopsis of the genera and suprageneric taxa of Euphorbiaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 81(1), 33–144 [in English].
- Webster, G. L. (2013). Euphorbiaceae. In K. Kubitzki (Ed.), *The Families and Genera of Vascular Plants* (Vol. 11, pp. 51–216). Springer. [in English].
- WFO The World Flora Online. [Electronic resource] URL: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000019533#citation20> (accessed 26.01.2026) [in English].
- Wikimedia Commons. [Electronic resource] URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:E_echinulata_ies.jpg (accessed 26.01.2026) [in English].
- Wijaya, A., Susanti, D., Harun, M. U., & Hawalid, H. (2009). Flower Characteristics and the Yield of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) Accessions. *HAYATI Journal of Biosciences*, 16(4), 123–126. <https://doi.org/10.4308/hjb.16.4.123> [in English].
- Yang, Y., Riina, R., Morawetz, J. J., Haevermans, T., Aubriot, X., & Berry, P. E. (2012). Molecular phylogenetics and classification of *Euphorbia* subgenus *Chamaesyce* (Euphorbiaceae). *Taxon*, 61(4), 764–789. <https://doi.org/10.1002/tax.614005> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 28.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



УДК 576.31:591.412:599.742.17
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.6>

ОСОБЛИВОСТІ МОРФОЛОГІЇ СЕРЦЯ ЛИСИЦІ ЗВИЧАЙНОЇ (*Vulpes Linnaeus*, 1758)

О. В. Овдіюк¹, А. П. Горальський²

Детальний аналіз морфології серця критично важливий для розуміння гемодинаміки. Оскільки серце є єдиним джерелом циркуляції крові, будь-які нюанси його будови безпосередньо впливають на живлення клітин та очищення організму. Зокрема, серце є найважливішим елементом серцево-судинної системи людини і тварин, і навіть незначні порушення його роботи можуть призвести до серйозних патологій.

Метою досліджень було з'ясувати морфологічну будову та морфометричні особливості серця (лінійні параметри, морфометрія шлуночків та передсердь, цитометричні показники кардіоміоцитів) у лисиці звичайної (*Vulpes Linnaeus*, 1758) у порівняльному видовому аспекті. На основі морфологічних та морфометричних методів досліджень, представлено нові дані щодо макро- та гістологічної будови серця та його цитоморфометричної характеристики морфологічних структур у здорових хребетних тварин (n=5), класу *Mammalia* – ссавці, лисиці звичайної – *Vulpes Linnaeus*, 1758.

За результатами органомерії (висота – $6,52 \pm 0,19$ см, ширина – $4,42 \pm 0,02$ см, окружність – $11,8 \pm 0,27$ см) серце лисиці звичайної розширено-вкороченого типу, еліпсоподібної форми, про що свідчить показник індексу його розвитку – $147 \pm 3,76\%$.

Найбільш розвинутими морфологічними структурами серця є правий і лівий шлуночки, потім праве та ліве передсердя, що корелює з лінійними параметрами товщини їх стінок. Так, товщина стінки лівого шлуночка (ЛШ) достовірно ($p \leq 0,001$) у 3,23 рази більша, ніж у правого шлуночка (ПШ), відповідно, товщина стінки лівого передсердя (ЛП) достовірно ($p \leq 0,05$) більша за товщину стінки правого передсердя (ПП) у 1,4 рази.

Абсолютна маса серця статевозрілої лисиці становить $40,6 \pm 1,96$ г, відносна – $0,46 \pm 0,015\%$. Чиста маса (без епікардіального жиру) серця складає $38,2 \pm 1,85$ г, що відповідає $0,43 \pm 0,01\%$ від загальної маси тварин. За таких параметрів АМ ЛШ є найбільшою ($52,06 \pm 0,591\%$) і дорівнює $19,78 \pm 0,48$ г, АМ ПШ ($26,12 \pm 0,742\%$) у два рази менша і становить $9,92 \pm 0,42$ г. При цьому, АМ ПШ та ЛШ серця разом ($78,18 \pm 0,865\%$), становить $29,72 \pm 0,54$ г. Значно меншою є АМ передсердь: ЛП – $5,88 \pm 0,3$ г ($15,5 \pm 0,163$ 0,25%), ПП – $2,40 \pm 0,18$ г ($6,32 \pm 0,203\%$). Загальний показник АМ правого та лівого передсердь ($21,82 \pm 0,289\%$) становить $8,3 \pm 0,138$. Зокрема, коефіцієнт відношення АМ

¹ аспірант кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи (Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: skilex57@gmail.com
ORCID: 0009-0000-5964-7907

² доктор ветеринарних наук, професор, професор кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи (Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: goralsky@ukr.net
ORCID: 0000-0002-4251-614X

шлуночків до чистої маси серця, дорівнює 1:0,78, коефіцієнт відношення АМ передсердь до чистої маси серця – 1:0,22, коефіцієнт відношення АМ передсердь до АМ шлуночків – 1:0,28.

Гістологічна будова міокарда серця шлуночків та передсердь сформована серцевою поперечно-по-
смуговою м'язовою тканиною, основними структурними елементами якої є скоротливі кардіо-
міоцити, що формують мережу поперечнопосмугованих, різних за товщиною м'язових волокон.

За результатами цитометрії кардіоміоцити ЛШ більші за розмірами: їх довжина достовірно ($p \leq 0,05$) перевищує відповідні показники ПШ в 1,28 рази, а ширина кардіоміоцитів ЛШ більша в 1,13 рази. Зокрема, найбільший об'єм мають кардіоміоцити міокарду ЛШ – $7602,32 \pm 78,38 \text{ мкм}^3$, менший – ПШ ($4728,02 \pm 114,25 \text{ мкм}^3$) і, найменший – кардіоміоцити передсердь – $3424,50 \pm 69,84 \text{ мкм}^3$.

За таких показників, коефіцієнт ядерно-цитоплазматичного відношення є різним: найменше властиве кардіоміоцитам ЛШ – $0,0277 \pm 0,01627$, достовірно ($p \leq 0,01$) більше – для кардіоміо-
цитів ПШ – $0,0419 \pm 0,02307$ і достовірно ($p \leq 0,001$) найбільше для кардіоміоцитів передсердь – $0,0498 \pm 0,03444$, що пов'язано з особливостями м'язової тканини міокарду, здатної до спонтанних ритмічних скорочень.

Ключові слова: хребетні тварини, макроморфологія, мікроморфологія, серцево-судинна система, серце, лінійні параметри, цитоархітектоніка, кардіоміоцити.

MORPHOLOGICAL FEATURES OF THE RED FOX HEART (*Vulpes Linnaeus, 1758*)

O. V. Ovdiiuk, L.P. Horalskyi

A comprehensive and in-depth study of the structure and morphofunctional justification of the work of the heart is always relevant, since the heart ensures constant blood circulation in the body, supplying cells with oxygen and nutrients, as well as removing metabolic products. The heart is the most important element of the cardiovascular system of humans and animals, and even minor disturbances in its work can lead to serious pathologies.

The purpose of the research was to find out the morphological structure and morphometric features of the heart (linear parameters, morphometry of the ventricles and atria, cytometric indicators of cardiomyocytes) in the common fox (*Vulpes Linnaeus, 1758*) in a comparative species aspect.

On the basis of morphological and morphometric research methods, new data on the macro- and histological structure of the heart and its cytomorphometric characteristics of morphological structures in healthy vertebrates ($n=5$), class Mammalia – mammals, common fox – *Vulpes Linnaeus, 1758* are presented.

According to the results of organometry (height – $6.52 \pm 0.19 \text{ cm}$, width – $4.42 \pm 0.02 \text{ cm}$, circumference – $11.8 \pm 0.27 \text{ cm}$), the heart of the common fox is expanded-shortened, elliptical in shape, as evidenced by the index of its development – $147 \pm 3.76\%$.

The most developed morphological structures of the heart are the right and left ventricles, followed by the right and left atria, which correlates with the linear parameters of the thickness of their walls: the wall thickness of the left ventricle is significantly ($p \leq 0.001$) 3.23 times greater than that of the right ventricle, respectively, the wall thickness of the left atrium is reliably ($p \leq 0.05$) greater than the wall thickness of the right atrium 1.4 times.

The absolute heart weight of a sexually mature fox is $40.6 \pm 1.96 \text{ g}$, relative – $0.46 \pm 0.015 \%$. The net weight (without epicardial fat) of the heart is $38.2 \pm 1.85 \text{ g}$, corresponding to $0.43 \pm 0.01\%$ of the total weight of the animals. Under such parameters, left ventricular AM is the largest ($52.06 \pm 0.591\%$) and equal to $19.78 \pm 0.48 \text{ g}$, right ventricular AM ($26.12 \pm 0.742 \%$) is two times smaller and is $9.92 \pm 0.42 \text{ g}$.

At the same time, the absolute weight of the LV and LV of the heart together ($78.18 \pm 0.865 \%$) is $29.72 \pm 0.54 \text{ g}$. Atrial AM is significantly smaller: LP – $5.88 \pm 0.3 \text{ g}$ ($15.5 \pm 0.163 \text{ } 0.25\%$), PP – $2.40 \pm 0.18 \text{ g}$ ($6.32 \pm 0.203\%$). The total absolute mass of the right and left atria ($21.82 \pm 0.289 \%$) is $8,3 \pm 0,138 \text{ g}$. At the same time, the coefficient of the ratio of ventricular AM to net heart weight is 1:0.78, the coefficient of the ratio of atrial AM to net heart weight is 1:0.22, and the coefficient of the ratio of atrial AM to ventricular AM is 1:0.28.

The histological structure of the myocardium of the heart of the ventricles and atria is formed by cardiac striated muscle tissue, the main structural elements of which are contractile cardiomyocytes that form a network of pore striated, different in thickness muscle fibers.

According to cytometry results, left ventricular cardiomyocytes are larger in size: their length is significantly ($p \leq 0.05$) greater than the corresponding figures of the right ventricle by 1.28 times, and the width of left ventricular cardiomyocytes is greater by 1.13 times. At the same time, LV myocardial cardiomyocytes have the largest volume – $7602.32 \pm 78.38 \text{ } \mu\text{m}^3$, smaller – RV ($4728.02 \pm 114.25 \text{ } \mu\text{m}^3$)

and, the smallest – atrial cardiomyocytes – $3424.50 \pm 69.84 \text{ } \mu\text{m}^3$. According to such indicators,

the coefficient of the nuclear–cytoplasmic ratio is different: the least characteristic of LV cardiomyocytes is 0.0277 ± 0.01627 , significantly ($p \leq 0.01$) more – for LV cardiomyocytes – 0.0419 ± 0.02307 and reliably ($p \leq 0.001$) the most for atrial cardiomyocytes – 0.0498 ± 0.03444 , which is related to the features of the muscle woven myocardium capable of spontaneous rhythmic contractions.

Key words: vertebrate animals, macromorphology, micromorphology, cardiovascular system, heart, linear parameters, cytoarchitectonics, cardiomyocytes.

Вступ

Функціонування хребетних ґрунтується на синергійній взаємодії органів та систем, що забезпечує адаптацію до змін довкілля, а саме температури, вологості та освітлення (Bartsch et al., 2015; Wishart, 2019; Buchko et al., 2019; Lehnertz et al., 2020). У цьому процесі серцево-судинна система є ключовою в частині регуляції кровообігу і постачання кисню до м'язів, тоді як дихальна система адаптується до рівня Оксигену в повітрі (Cooper & Loxham, 2019; Eckhardt & Wu, 2021; Horalsky et al., 2023). Нервова система інтегрує ці реакції, трансформуючи зовнішні сигнали у швидкі внутрішні відповіді (González et al., 2023). Отже, організм – це відкрита система, що безперервно взаємодіє із середовищем задля підтримки життєдіяльності та еволюційного розвитку (Simões-Costa et al., 2005; Vuijtendijk et al., 2020).

Як цілісна біологічна система, організм реагує на зовнішні чинники завдяки узгодженій морфофункціональній діяльності. Ключову роль відіграє серце, як головний орган кровообігу (Журенко та ін., 2018; Проценко та ін., 2020; Коц та ін., 2021; Raiola et al., 2023). Така інтеграція дозволяє тваринам ефективно підтримувати гомеостаз і адаптуватися до різних екологічних ніш (Michel, 2018).

В еволюційному аспекті структура серця змінювалася відповідно до фізіологічних потреб виду (Monahan-Earley et al., 2013). Чотирикамерне серце більшості хордових забезпечує повне розділення потоків крові, що інтенсифікує метаболізм (Brown et al., 2020; Somberg et al., 2020). Натомість, трикамерна будова у рептилій та амфібій відображає інші стратегії кисневого обміну (Jensen & Christoffels, 2020; Schmidt-Ukaj et al., 2022), а простіша структура серця безхребетних адаптована до циркуляції гемолимфи (Kodirov, 2011).

Попри ґрунтовні дослідження онто- та філогенезу серця ссавців (Слабий, 2018; Araújo Júnior et al., 2021; Рагуля та ін., 2024), питання взаємодії його гісто- та цитоструктур у регуляції гемодинаміки залишаються дискусійними (Vansiatskaia & Kyrpaneva,

2014; Anderson & Ho, 2023). Зокрема, бракує точних кількісних морфометричних даних про внутрішню будову органа, без яких неможлива об'єктивна інтерпретація фізіологічних процесів. Тому, глибоке та комплексне дослідження морфології серця хребетних тварин є актуальним для порівняльної анатомії, біології, зоології хордових тощо, що обумовило напрямок наших досліджень.

Метою нашого дослідження є встановлення закономірностей морфофункціональної організації серця хребетних тварин на основі комплексного аналізу його кількісних та якісних показників.

Матеріал і методи

Дослідження проведені згідно вимог міжнародних принципів “Європейської конвенції захисту хребетних тварин, що використовують в експерименті та інших наукових цілях” (Страсбург, 1986 р.), (Європейська конвенція, 1986), “Правилами проведення робіт з використанням експериментальних тварин”, відповідно до наказу МОЗ №281, від 1 листопада 2000 р. “Про заходи подальшого удосконалення організаційних форм роботи з використанням експериментальних тварин” та відповідного Закону України “Про захист тварин від жорстокого поводження” (№ 3447-IV від 21.02.2006 р., м. Київ), (Яблонська, 2007; Ничипорук та ін., 2022).

Об'єктом дослідження було серце ($n = 5$) лисиці звичайної: царство – тварини (Animalia); клас – ссавці (Mammalia); ряд – хижі (Carnivora); родина – псові (Canidae); рід – лисиця (Vulpes); вид – лисиця звичайна (*V. vulpes*). Вибір цього виду обумовлений його роллю, як типового представника родини псових, що володіє високою адаптивною здатністю до різних екологічних умов.

Процедура відбору органа передбачала чітке відокремлення судин (аорти, легеневої артерії та вен) на фіксованій відстані від основи передсердь. Такий підхід дозволило отримати уніфіковані дані для подальшого зважування та вимірювання. Відбирали серце разом з навколосерцевою сумкою. Після зважування навколосерцеву сумку видаляли та відрізали судини

серця. Аорту та легеневу артерію відділяли по вільному краю стулчастих півмісяцевих клапанів, легеневі артерії, краніальну та каудальну порожні вени відрізали на відстані 5 мм від основи передсердь. Потім серце, після звільнення його від згустків крові, зважували.

Виміри серця здійснювали за допомогою лінійки з точністю до 0,1 мм, де визначали довжину (відстань від місця галуження аорти до верхівки серця), ширину (відстань між боковими поверхнями серця, на рівні основи шлуночків), товщину (найбільші краніо-каудальні заміри, як правило на рівні основи шлуночків). Форму серця визначали за співвідношенням його основних розмірів, оцінюючи пропорції між довжиною, шириною та товщиною, що дозволило класифікувати серце за типами його геометричної форми (наприклад, кругле, овальне або витягнуте) (Goralskiy et al., 2024). Такий підхід створює можливість проводити порівняльний аналіз та виявляти зміни в морфології.

Абсолютну масу (AM) серця було визначено шляхом зважування на лабораторних вагах марки «RADWAG» PS 6000/C/2 (Польща).

Вагові показники (AM та BM), зокрема визначення абсолютної та відносної маси серця є класичним методом оцінки енергетичного потенціалу організму та інтенсивності його метаболізму. З цією метою була використана формула відносної маси (BM):

$$BM = \frac{AM}{MT} \times 100$$

Варто зазначити, що застосування такого методу нівелює вплив загальних розмірів тіла, дозволяючи порівнювати розвиток серця у особин різної ваги.

Лінійні заміри та ІРС, а саме визначення індексу розвитку серця (ІРС) проводили шляхом відношення його загальної висоти до ширини користуючись наступною формулою:

$$IPC = \frac{BO}{ШО} \times 100$$

Такий підхід для даного дослідження дає змогу виявити видові особливості конфігурації органа, що безпосередньо корелює з типом локомоції та способом життя тварини, а саме на ного об'єкта дослідження.

З метою проведення гістологічних досліджень серця, відібрані шматочки матеріалу фіксували у 10-12% охолоджену водному розчині нейтрального формаліну впродовж однієї доби та більше. Після фіксації мате-

ріал заливали у парафін згідно схем, які запропоновані у посібнику (Горальський та ін., 2019). Парафінові зрізи (товщина не перевищувала 10-12 мкм) виготовляли на санному мікротомі МС-2.

Для дослідження цито- та гістоархітекτονіки серця, депарафіновані гістозрізи забарвлювали гематоксиліном та еозином, а для мікроскопічного дослідження (візуалізації елементів) поперечно-посмугованої м'язової тканини міокарду, виявлення цито-структури кардіоміоцитів, застосовували фарбування гістопрепаратів за методом Гейденгайна.

Цитометричні дослідження (виміри довжини та ширини (діаметру) кардіоміоцитів, об'єму їх ядер) проводили за світлової мікроскопії, мікроскопом «Micros» (Micros, Австрія, 2012) з системою візуалізації та МБС-10 (Micromed, Китай, 1998) з постійною довжиною тубуса, згідно з рекомендаціями викладеними у посібнику (Horalyskiy et al., 2019). Такий підхід дозволяє перейти від описової морфології до доказової, виявляючи навіть мінімальні структурні перебудови.

Фотографування гістопрепаратів здійснювали відеокамерою CAM V-200 (Інтер Мед, КНР, 2017). Анатомічні та гістологічні терміни структур серця подані відповідно до Міжнародної ветеринарної гістологічної та анатомічної номенклатури (Термінологічний словник) (Хомич та ін., 2019).

Статистичні дані результатів кількісних досліджень, проведені за використання програмного пакету Statistica 7.0, програмного забезпечення (StatSoft, Талса, США). Різницю між цифровими даними досліджуваних показників здійснювали за допомогою ANOVA, де різниця вважалася достовірною при $P < 0,05$ (з урахуванням похибки Бонферроні).

Результати

Серце лисиці звичайної розташоване у грудній порожнині, майже горизонтально та асиметрично, дещо зміщуючись ліворуч, між легеньми, краніально від діафрагми. Серце лисиці чотирикамерне і складається з двох шлуночків та двох передсердь. Морфологічно серце має розширену основу та загострену верхівку (рис. 1): основа направлена краніально та знаходиться на рівні 3-4-го ребра, верхівка серця спрямована каудально і топографічно розміщена на рівні 7-8-го ребра. Серцеві вушка (ліве – широке, коротке, праве – вузьке, витягнуте) у лисиці виражені слабо (рис. 1).

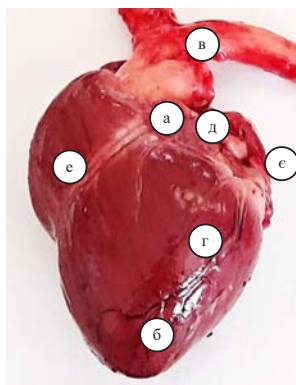


Рис. 1. Макроскопічна будова серця лисиці звичайної: а – основа серця; б – верхівка серця; в – аорта; г – лівий шлуночок (ЛШ); д – ліве передсердя (ЛП); е – правий шлуночок; (ПШ) є – ліве серцеве вушко. Макропрепарат

За результатами органомерії, де висота серця становить $6,52 \pm 0,19$ см, ширина – $4,42 \pm 0,02$ см, окружність – $11,8 \pm 0,27$ см, його показник індексу розвитку дорівнює $147 \pm 3,76$ %. Саме тому серце у лисиці звичайної еліпсоподібної форми, розширено-вкороченого типу (табл. 1).

Найбільш розвинутими морфологічними структурами серця є лівий, потім правий шлуночки, далі ліве та праве передсердя, що корелює з лінійними параметрами товщини їх стінок. Так, товщина ($8,42 \pm 0,17$ мм) стінки ЛШ достовірно ($p \leq 0,001$) у 3,23 рази більша ніж товщина ($2,6 \pm 0,15$ мм) ПШ, відповідно товщина ($3,04 \pm 0,15$ мм) стінки ЛП до товщини ($2,18 \pm 0,09$ мм) ПП достовірно ($p \leq 0,05$) більша у 1,4 рази.

За результатами морфометрії, абсолютна маса серця статевозрілої лисиці становить

$40,6 \pm 1,96$ г, відносна – $0,46 \pm 0,015$ %. При цьому АМ серця без епікардіального жиру (чиста маса), дорівнює $38,2 \pm 1,85$ г, відносно відносна – $0,43 \pm 0,01$ %.

За таких органомеричних результатів, середня маса ЛП серця становить $5,88 \pm 0,38$ г ($15,5 \pm 0,163$ %), абсолютна маса правого передсердя порівняно з ЛП достовірно ($P < 0,01$) у 2,45 рази менша і дорівнює $2,40 \pm 0,18$ г ($6,32 \pm 0,203$ %). Загальний показник абсолютної маси правого та лівого передсердь серця лисиці звичайної дорівнює $8,3 \pm 0,138$ г ($21,82 \pm 0,289$ %) (табл. 1).

Абсолютна маса лівого шлуночка серця лисиці звичайної набагато більша і становить $19,78 \pm 0,48$ г ($52,06 \pm 0,591$ %), при тім, абсолютна маса правого шлуночка, має проміжне значення і дорівнює $9,92 \pm 0,42$ г ($26,12 \pm 0,742$ %). Загальна абсолютна маса лівого та правого шлуночків разом, становить $29,72 \pm 0,54$ г ($78,18 \pm 0,865$ %). За таких показників АМ морфологічних структур серця, АМ його шлуночків достовірно ($P < 0,001$) у 3,6 рази є більшою, ніж АМ передсердь. А відтак, коефіцієнт відношення АМ шлуночків серця лисиці звичайної, до його АМ (без епікардіального жиру) дорівнює 1:0,78, коефіцієнт відношення АМ передсердь до чистої маси серця становить 1:0,22, а коефіцієнт відношення АМ міокарду передсердь до АМ міокарду шлуночків дорівнює 1:0,28 (табл. 1).

Стінка шлуночків та передсердь серця лисиці звичайної сформована трьома оболонками – зовнішньою (епікардом), середньою (міокардом), внутрішньою (ендокардом), найбільш розвинутими з яких, є м'язова оболонка – міокард (рис. 2).

Таблиця 1

Морфометрія серця, шлуночків та передсердь лисиці звичайної, $M \pm m$, $n = 5$

Показники	Абсолютна маса, (г)	Відносна маса, (%)
Серце лисиці	$40,6 \pm 1,96$	$0,46 \pm 0,015$
Серце лисиці (без апікального жиру)	$38,2 \pm 1,85$	$0,43 \pm 0,01$
Ліве передсердя	$5,88 \pm 0,38$	$15,5 \pm 0,163$
Праве передсердя	$2,40 \pm 0,18$	$6,32 \pm 0,203$
Праве та ліве передсердя (разом)	$8,3 \pm 0,138$	$21,82 \pm 0,289$
Лівий шлуночок	$19,78 \pm 0,48$	$52,06 \pm 0,591$
Правий шлуночок	$9,92 \pm 0,42$	$26,12 \pm 0,742$
Лівий та правий шлуночки (разом)	$29,72 \pm 0,54$	$78,18 \pm 0,865$
Коефіцієнт відношення маси шлуночків до чистої маси серця	1:0,78	
Коефіцієнт відношення маси передсердь до чистої маси серця	1:0,22	
Коефіцієнт відношення маси передсердь до маси шлуночків	1:0,28	

Примітка: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$ по відношенню АМ ПШ до АМЛШ та АМПП до АМЛП.

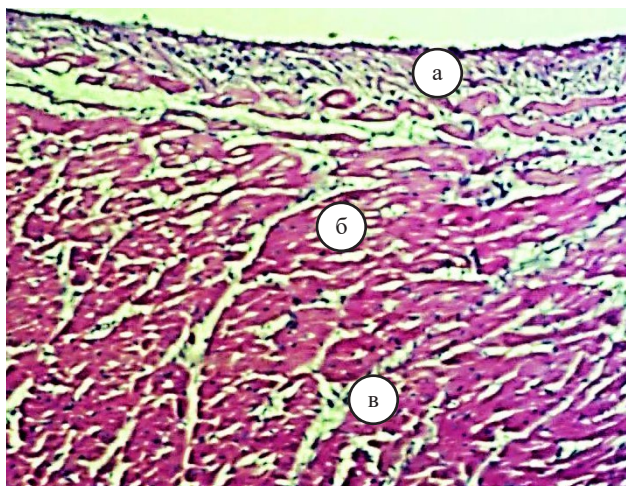


Рис. 2. Мікроскопічна будова лівого шлуночка серця лисиці звичайної:
а – зовнішня оболонка (епікард);
б – середня оболонка (міокард);
в – міжм'язова сполучна тканина.
Гематоксилін та еозин. Х 280

Серцевий м'яз правого та лівого шлуночків серця лисиці утворений п'ятьма шарами: двома поверхневими – зовнішнім і внутрішнім, м'язові волокна яких орієнтовані у косо-поздовжньому напрямку, двома більш глибокими шарами – зовнішнім і внутрішнім та одним найбільш глибоким шаром.

Міокард стінки передсердь сформований лише двома шарами м'язової оболонки: зовнішнім, який є загальний для обох передсердь та глибоким. М'язові волокна міокарду серця зовнішнього шару, розташовані у поперечному напрямку від правого до лівого серцевого вушка. М'язові волокна міокарду правого та лівого передсердь глибокого шару мають поздовжній напрямок. У ділянці венозних отворів міокарду, виявляються сформовані колові пучки м'язових волокон.

Завдяки такій досконалій та унікальній будові міокарду, а саме серцевих м'язів шлуночків порівняно з такими у передсердь, що пов'язано з їх функціональним навантаженням при скороченні кардіоміоцитів, стінки шлуночків набагато товстіші за стінки передсердь.

За мікроскопічної будови, міокард серця шлуночків та передсердь сформований серцевою поперечнопосмугованою м'язовою тканиною. Основними структурними елементами міокарду є скоротливі кардіоміоцити, які, поєднуючись між собою, утворюють м'язові волокна, між якими знаходяться прошарки пухкої волокнистої сполучної тканини (рис. 3; 4). Отже, така мікроско-

пічної будова організації міокарду, забезпечує синхронність скорочень і ефективність роботи серця.

Паралельно розташовані у поздовжньому напрямку м'язові волокна міокарду, поєднуючись між собою в єдине ціле за допомогою анастомозів, формують сіткоподібну структуру, формуючи, єдину скоротливу систему серця (рис. 3).

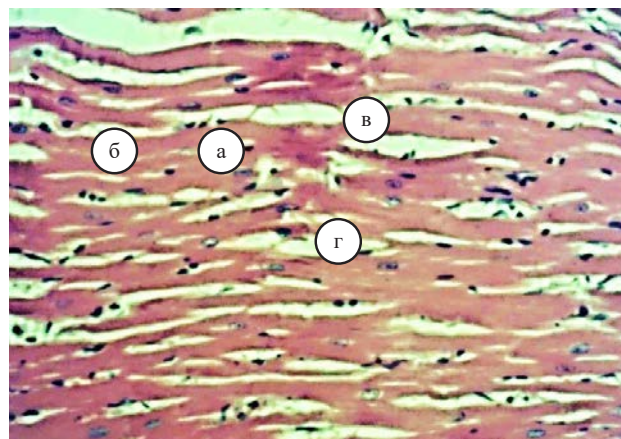


Рис. 3. Мікроскопічна будова міокарду лівого шлуночка серця лисиці звичайної (поздовжній зріз): а – м'язові волокна; б – ядра м'язових волокон; в – анастомози; г – міжм'язова сполучна тканина.
Гематоксилін та еозин. Х 280

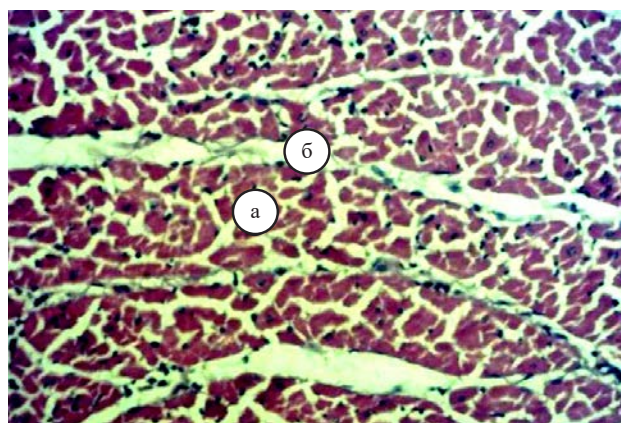


Рис. 4. Мікроскопічна будова міокарду лівого шлуночка серця лисиці звичайної (поперечний зріз): а – м'язові волокна; б – міжм'язова сполучна тканина.
Гематоксилін та еозин. Х 280

Кардіоміоцити, як основні складові елементи скоротливих м'язів міокарду, у своїй структурі мають чітко виражену сарколему, саркоплазму, міофібрили та ядра. У саркоплазмі таких клітин, виразно диференціюється, поперечна та поздовжня посму-

гованість та знаходяться одне, іноді – два ядра, овальної або ж видовженої форми, які на поперечному зрізі кардіоміоциту мають центральне положення. У каріоплазмі ядер кардіоміоцитів, у вигляді малих або ж крупніших зерен, по всьому її периметру, виявляється ядерний хроматин (рис. 5).

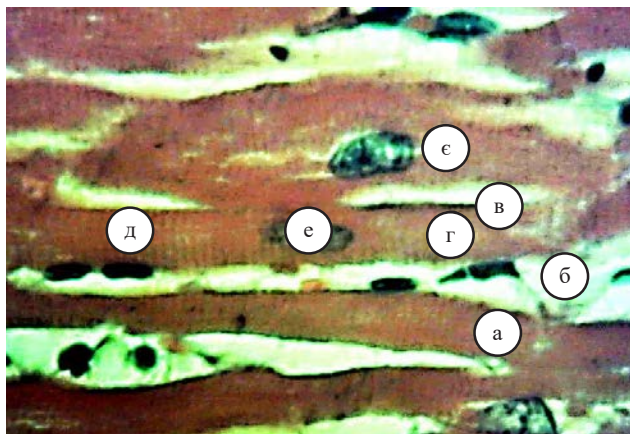


Рис. 5. Фрагмент мікроскопічної будови міокарду правого передсердя серця лисиці звичайної (поздовжній зріз): а – м'язові волокна; б – міжм'язова сполучна тканина; в – сарколема; г – саркоплазма; д – поперечна посмугованість; е – ядра кардіоміоцитів; є – ядерний хроматин. Гематоксилін та еозин. Х 600

Кардіоміоцити поєднуються між собою у м'язові волокна, вставними дисками, що особливо помітно при фарбуванні гістопрепаратів за методом Гейденгайна (рис. 6). Такий механізм поєднання кардіоміоцитів між собою вставними дисками у структуру – м'язові волокна, як єдина скоротлива система серцевого м'язу, забезпечує опорну функцію для скорочувальних елементів серцевих клітин (міофіламенти) та забезпечує одночасне скорочення міокарда і, тим самим утворює функціональний синцитій.

Цитометричними дослідженнями встановлено, що у лисиці звичайної параметри кардіоміоцитів лівого шлуночка міокарду

серця більші, порівняно з правим. Так, довжини кардіоміоцитів ЛШ достовірно ($p \leq 0,05$) у 1,28 рази більша, ніж правого, відповідно ширина кардіоміоцитів ЛШ достовірно ($p \leq 0,05$) більша у 1,13 рази. При цьому найменша довжина та ширина кардіоміоцитів характерна для м'язової тканини передсердь (табл. 2). За таких показників, найбільший об'єм кардіоміоцитів серця властивий кардіоміоцитам ЛШ – $7602,32 \pm 78,38$ мкм³, об'єм кардіоміоцитів ПШ, порівняно з ЛШ, достовірно ($p \leq 0,05$) менший у 1,6 рази і становить $4728,02 \pm 114,25$ мкм³. Результати цитометричного аналізу свідчать про виражену морфофункціональну асиметрію міокарда лисиці звичайної, що проявляється в ієрархії розмірів клітинних елементів.



Рис. 6. Мікроскопічна будова міокарда правого шлуночка лисиці звичайної: а – кардіоміоцити; б – ядра кардіоміоцитів; в – вставні диски; г – міжм'язова сполучна тканина. Фарбування за методом Гейденгайна. Х 280

Найменший об'ємів кардіоміоцитів ($3424,50 \pm 69,84$ мкм³) характерний кардіоміоцитам передсердь (табл. 2).

Подібні характеристики цитометричних параметрів встановлені нами за розрахунку об'ємів ядер кардіоміоцитів: більший об'єм ядер кардіоміоцитів властивий лівому

Таблиця 2

Гістометричні показники кардіоміоцитів лисиці звичайної, $M \pm m$, $n = 30$

Структурні складові серця	Довжина кардіоміоцитів (мкм)	Ширина кардіоміоцитів (мкм)	Об'єм кардіоміоцитів (мкм ³)	Об'єм ядер кардіоміоцитів (мкм ³)	ЯЦВ
Лівий шлуночок	$89,94 \pm 1,04$	$12,77 \pm 0,36$	$7602,32 \pm 78,38$	$203,5 \pm 7,11$	$0,0277 \pm 0,01627$
Правий шлуночок	$70,23 \pm 1,19$	$11,23 \pm 0,42$	$4728,02 \pm 114,25$	$187,86 \pm 6,13$	$0,0419 \pm 0,02307$
Передсердя	$66,3 \pm 0,99$	$9,98 \pm 0,31$	$3424,50 \pm 69,84$	$160,18 \pm 3,9$	$0,0498 \pm 0,03444$

Примітка: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$ по відношенню до лівого шлуночка.

шлуночку ($203,5 \pm 7,11$ мкм³), дещо менший правому – $187,86 \pm 6,13$ мкм³ та найменший ($160,18 \pm 3,9$ мкм³) для передсердь (табл. 2), (рис. 7).

За таких цитометричних показників об'єму кардіоміоцитів та їх ядер, ЯЦВ різне: найменше властиве кардіоміоцитам ЛШ ($0,0277 \pm 0,01627$) і достовірно ($p \leq 0,05$) у 1,51 рази більше властиве кардіоміоцитам ПШ ($0,0419 \pm 0,02307$). При цьому найбільший ($0,0498 \pm 0,03444$) показник ЯЦВ був характерний для кардіоміоцитів передсердь (табл. 2), (рис. 8).

Такі виявлені нами цито- та каріометричні характеристики кардіоміоцитів шлуночків та передсердь м'язової тканини міокарду, пов'язуємо з морфофункціональною діяльністю роботи серця під час серцевого циклу: передсердя отримують кров, яка повертається до серця від тіла тварин, а шлуночки перекачують кров від серця до тіла, виконуючи при цьому найбільше навантаження.

Обговорення

Серце, як основна частина серцево-судинної системи у ссавців, це порожнистий чотирикамерний м'язовий орган, який забезпечує течію крові у кровоносних судинах. Серце має конусоподібну або овальну форму, залежно щодо особливостей морфоархітекτονіки грудної клітки тварин, яка надає органу відповідну будову. Так, у тварин з більш компактною грудною кліткою серце набуває більш округлої або овальної форми, що оптимізує його розташування в обмеженому просторі. Водночас, у видів з більш розширеною грудною кліткою, форма серця може бути більш витягнутою або конусоподібною (Rowlatt, 1990). Така варіабельність форми серця у досліджених видів тварин є важливим аспектом для розуміння його функціональних особливостей та взаємозв'язку з іншими органами (Meijler & Meijler, 2011; Horrell et al., 2022).

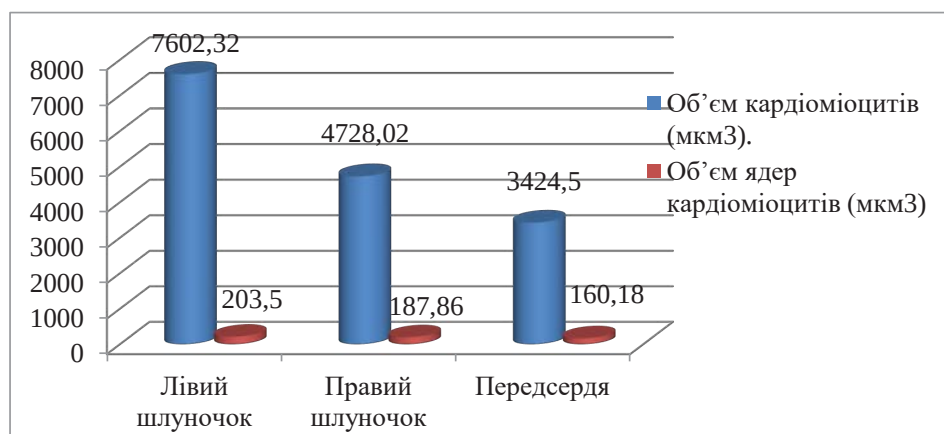


Рис. 7. Цитометрія кардіоміоцитів міокарду серця лисиці звичайної

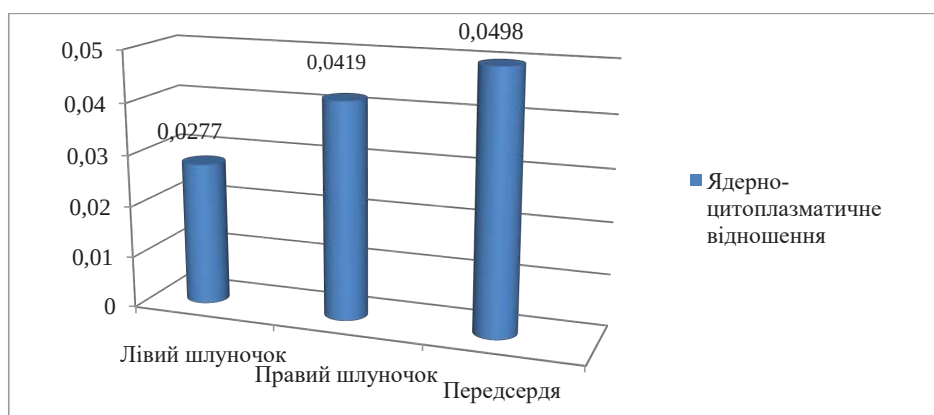


Рис. 8. ЯЦВ кардіоміоцитів міокарду серця лисиці звичайної

Серце знаходиться у середостінному просторі грудної порожнини, зміщуючись ліворуч, його морфоархітектоніка та морфопографія у тварин класу ссавці подібні між собою, але мають певні особливості (Stephenson et al., 2017).

У лисиці звичайної серце дещо горизонтально та асиметрично, між легенями, краніально до діафрагми, зміщуючись ліворуч розташоване у грудній порожнині. Його розширена основа розміщена на рівні 3-4-го ребра, а верхівка – на рівні 7-8-го ребра.

У свійських ссавців, залежно від виду, породи, віку тварин виділяють такі форми серця: звужено-подовжена (велика рогата худоба), звужено-вкорочена (крізь), розширено-вкорочена (кінь), кругло-овальна (собака). У собак вона може бути еліпсоподібна (43%), конусоеліпсоподібна (24%), еліпсоподібно-куляста (26%) і куляста (7%), у великої рогатої худоби подовжено-звужена, конусоподібна і розширено-вкорочена. Свині мають три основні типи серця: видовжено-звужений, конусоподібний; вкорочений, відносно звужений; розширено-вкорочений, трикутний (Демус, 2015).

За результатами аналізу показників індексу розвитку серця у свійських тварин, враховуючи макроскопічну будову, морфологічну шкалу (маркерні ознаки), серце за індексом його розвитку у свійських ссавців класифікують на 3 типи: перший – розширено-вкорочений тип ($IPR=140-150\%$), другий – розширено-видовжений ($IPR=151-160\%$), третій – видовжено-звужений ($IPR=161-170\%$). При цьому, за показниками ІРС, серце кроля, собаки, вівці та коня визначається, як розширено-вкороченого типу, у свині – розширено-видовженого типу, у великої рогатої худоби – видовжено-звуженого типу (Horalskyi et al., 2022).

Згідно з результатами наших досліджень, серце лисиці звичайної еліпсоподібної форми, розширено-вкороченого типу, на що вказує індекс ($147\pm 3,76\%$) його розвитку.

Вагомим та ґрунтовним показником морфофункціонального стану органів та систем організму, є їх абсолютна та відносна маса (Міц та ін., 2016), морфометричні параметри яких не тільки свідчать про їх розвиток та морфофункціональну зрілість, але й мають пізнавальне значення та є основою для визначення форми, встановлення порівняльно-анатомічних типів органів тощо (Linask, 2003; Belimenko et al., 2021).

У лисиці звичайної АМ серця становить $40,6\pm 1,96$ г, ВМ – $0,46\pm 0,015\%$, чиста АМ серця

(безепікардіального жиру) дорівнює $38,2\pm 1,85$ г, ВМ – $0,43\pm 0,01\%$. За таких показників, найбільша АМ ($19,78\pm 0,48$ г) характерна для ЛШ серця, найменша ($2,40\pm 0,18$ г) для правого передсердя. Морфометричні дані абсолютної маси правого та лівого (разом) передсердь становить $8,3\pm 0,138$ г, відповідно АМ лівого та правого шлуночків серця – $29,72\pm 0,54$ г. При цьому, коефіцієнт відношення АМ шлуночків серця, до його АМ (без епікардіального жиру) дорівнює $1:0,78$, коефіцієнт відношення АМ передсердь до чистої маси серця – $1:0,22$, коефіцієнт відношення АМ міокарду передсердь до АМ міокарду – $1:0,28$.

Для аналізу результатів досліджень, у сучасній морфології, застосовують цитометричні методи дослідження (Bodnar & Trach Rosolovska, 2011). Саме такі методи дозволяють з'ясувати взаємозв'язки та обґрунтувати взаємодію окремих структур організму людини і тварин, їх кількісні та відносні параметри на різних етапах індивідуального та філогенетичного розвитку, а також за різних функціональних станів тієї чи іншої системи організму, залежно від їх функціонального навантаження та видових особливостей (Григор'єва та Чернявський, 2018).

Згідно з результатами аналізу наукових досліджень, описаних у літературних джерелах (Слабий, 2017; Mazo et al., 2017), та представлених нами результатів власних досліджень, щодо мікроскопічної будови серця лисиці звичайної, цитоархітектоніка кардіоміоцитів міокарду серця шлуночків та передсердь має подібну будову, водночас різниться за цитометричними параметрами, що дає можливість встановити навіть незначні зміни мікроскопічної будови морфологічних частин органу на тканинному та клітинному рівнях, у зв'язку з їх функціональним навантаження (Sikora & Yarmolenko, 2013).

Таким способом нами встановлено, що кардіоміоцити, які виконують певні функціональні навантаження, при скороченні серцевого м'язу під час систоли за серцевого циклу, прокачуючи кров крізь судин тіла, забезпечуючи живлення і дихання тканин, залежно від їх морфопографії (правий, лівий шлуночки, передсердя) характеризуються неоднозначними цитометричними параметрами. Так, найбільший об'єм кардіоміоцитів характерний для лівого шлуночка ($7602,32\pm 78,38$ мкм³), потім для правого ($4728,02\pm 114,25$ мкм³) та найменший ($3424,50\pm 69,84$ мкм³) – для кардіоміоцитів передсердь. Подібні значення також встановлені при визначенні об'ємів ядер карді-

оміоцитів: об'єм ядер кардіоміоцитів лівого шлуночка – $203,5 \pm 7,11$ мкм³, відповідно для правому шлуночку – $187,86 \pm 6,13$ мкм³, та для передсердь – $160,18 \pm 3,9$ мкм³. Це пояснюється тим, що ЛШ функціонує в основному як насос, ПШ – як об'ємний (Haligür & Dursun, 2009). Саме тому, більші цитометричні параметри кардіоміоцитів та їх ядер та менше ЯЦВ кардіоміоцитів міокарду ЛШ, відносно ПШ, пов'язані з функціональними властивостями м'язової тканини міокарду, здатної до спонтанних ритмічних скорочень, сприяючи руху крові по судинам: КМЛШ виконують більше навантаження, сприяючи руху крові по судинам великого кола кровообігу, відповідно КМПШ – менше навантаження, сприяючи руху крові по судинам малого кола кровообігу.

За таких цитометричних показників, ядерно-цитоплазматичне відношення ($0,0498 \pm 0,03444$) кардіоміоцитів передсердь відносно до ЯЦВ кардіоміоцитів правого та лівого шлуночків, достовірно ($p \leq 0,05$) у 1,2 та у 1,8 рази ($p \leq 0,01$) більше, що свідчать про менше їх морфофункціональне навантаження порівняно з кардіоміоцитами шлуночків. Адже найбільш морфофункціонально активними та зрілими соматичними клітинами є ті, яким властивий низький індекс ЯЦВ і, навпаки, клітини з високим ЯЦВ є менш функціонально активними (Anderson & Ho, 2003; Гнатюк та ін., 2010).

Висновки

У ході дослідження вперше було комплексно визначено морфо-цитометричні параметри серця лисиці звичайної, що дозволило встановити закономірності та його особливості у порівняльному аспекті. Встановлено, що серце лисиці має еліпсоподібну форму розширено-вкороченого типу. Зокрема, абсолютна маса серця лисиці звичайної дорівнює $40,6 \pm 1,96$ г, відносна – $0,46 \pm 0,015\%$, абсолютна маса серця без епікардіального жиру (чиста маса) становить $38,2 \pm 1,85$ г ($0,43 \pm 0,01\%$). Висота серця дорівнює $6,52 \pm 0,19$ см, ширина – $4,42 \pm 0,02$ см, окружність – $11,8 \pm 0,27$ см, індексу розвитку серця – $147 \pm 3,76\%$.

Аналіз лінійних розмірів та маси підтверджує домінуючу роль лівого шлуночка, що зумовлено гемодинамічними особливостями виду. Зокрема, товщина стінки лівого шлу-

ночка ($8,42 \pm 0,17$ мм), достовірно ($p \leq 0,001$) у 3,24 рази більша ніж правого ($2,6 \pm 0,15$ мм) шлуночка, відповідно товщина стінки лівого передсердя ($3,04 \pm 0,15$ мм) до правого ($2,18 \pm 0,09$ мм), достовірно ($p \leq 0,05$) більша у 1,39 рази;

– абсолютна маса лівого шлуночка серця дорівнює $19,78 \pm 0,48$ г ($52,06 \pm 0,591\%$), абсолютна маса правого шлуночка – $9,92 \pm 0,42$ г ($26,12 \pm 0,742\%$), загальна абсолютна маса лівого та правого шлуночків становить $29,72 \pm 0,54$ г ($78,18 \pm 0,865\%$);

– абсолютної маси лівого передсердя дорівнює $5,88 \pm 0,38$ г ($15,5 \pm 0,163\%$), абсолютна маса правого $2,40 \pm 0,18$ г ($6,32 \pm 0,203\%$). Загальний показник абсолютної маси правого та лівого передсердь серця лисиці звичайної становить $8,3 \pm 0,138$ г ($21,82 \pm 0,289\%$);

– коефіцієнт відношення АМ шлуночків серця до його чистої маси, дорівнює $1:0,78$, коефіцієнт відношення АМ передсердь до чистої маси серця – $1:0,22$, коефіцієнт відношення АМ міокарду передсердь до АМ міокарду шлуночків – $1:0,28$.

Вперше деталізовано клітинний рівень організації міокарду через об'ємні показники кардіоміоцитів (КМЦ) та їх ядер. Встановлено, що більший об'єм кардіоміоцитів характерний для міокарду лівого шлуночка – $7602,32 \pm 78,38$ мкм³, менший – правого шлуночка ($4728,02 \pm 114,25$ мкм³) і, найменший для кардіоміоцитів передсердь – $3424,50 \pm 69,84$ мкм³. Об'єми ядер кардіоміоцитів лівого шлуночка серця дорівнюють ($203,5 \pm 7,11$ мкм³), правого – $187,86 \pm 6,13$ мкм³, передсердь – $160,18 \pm 3,9$ мкм³. Показник ядерно-цитоплазматичного відношення, найменшим є для кардіоміоцитів лівого шлуночка – $0,0277 \pm 0,01627$, достовірно ($p \leq 0,01$) більшим – для кардіоміоцитів правого ($0,0419 \pm 0,02307$) і достовірно ($p \leq 0,001$) найбільшим для кардіоміоцитів передсердь – $0,0498 \pm 0,03444$, що пов'язано з особливостями м'язової тканини міокарду, здатної до спонтанних ритмічних скорочень.

Таким чином, отримані дані є пріоритетними, оскільки вони вперше систематизують органно-, гісто- та цитометричні параметри серця лисиці звичайної, що пов'язано з особливостями м'язової тканини міокарду, здатної до спонтанних ритмічних скорочень.

Список використаної літератури

Гнатюк М.С., Татарчук Л.В., Пришляк А.М., Лавренюк В.Є. Вікові особливості змін ядерно-цитоплазматичних відношень в кардіоміоцитах частин серця дослідних тварин. *Таврійський медико-біологічний вісник*. 2010. № 4(52). С. 29–32.

Горальський А.П., Хомич В.Т., Кононський О.І. Основи гістологічної техніки і морфофункціональні методи дослідження у нормі та при патології: навчальний посібник. Житомир: Полісся, 2019. 288 с.

Григор'єва О.А., Чернявський А. В. Морфометричні особливості стінок шлуночків та міжшлуночкової перегородки серця щурів у нормі та після внутрішньоплідної дії антигену. *Вісник наукових досліджень*. 2018. № 2. С. 129–132. <https://doi.org/10.11603/2415-8798.2018.2.8981>.

Демус Н.В. Органометрія серця теличок залежно від типу автономної регуляції серцевого ритму. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки*. 2015. Т. 17 № 1(61). С. 24–29. [Електронний ресурс]. URL: <https://nvlvet.com.ua/index.php/journal/article/view/260/261> (дата звернення: 10.12.2025).

Європейська конвенція про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей. (Березень 1986). [Електронний ресурс] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_137#Text (дата звернення: 07.06.2025).

Журенко О.В., Карповський В.І., Данчук О.В., Кравченко-Довга Ю.В. Вміст кальцію та фосфору в крові корів з різним тонусом вегетативної нервової системи. *Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Ветеринарні науки*. 2018. № 20(92). С. 8–12. <https://doi.org/10.32718/nvlvet9202>.

Закон України № 3447-IV «Про захист тварин від жорстокого поводження» [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3447-15#Text> (дата звернення: 07.06.2025).

Коц С.М., Коц В.П., Коваленко П.Г. Динаміка показників функціонального стану серцево-судинної системи дітей шкільного віку під впливом корекційного комплексу. *Природничий альманах*. 2021. №. 31. С. 35–44. <https://doi.org/10.32999/ksu2524-0838/2021-31-4>.

Міц І. Р., Денефіль О. В, Андрієшин О. П. Морфологічні зміни внутрішніх органів у тварин різної статі, які зазнали хронічного стресу. *Вісник наукових досліджень*. 2016. № 3. С. 107–110. <https://doi.org/10.11603/2415-8798.2016.3.6994>.

Ничипорук С. М., Радзиховський М. А., Гутий Б. В. Огляд: евтаназія і способи евтаназії тварин. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки*. 2022. Т. 24. № 105. С. 141–148. <https://10.32718/nvlvet10520>.

Проценко О. С., Шаповал О. В., Тесленко А. А., Ворона Д. А Розвиток та будова структур серцево-судинної системи: теоретичні та практичні аспекти вивчення (частина 1). *Актуальні проблеми сучасної медицини*. 2020. № 6. С. 93–107. <https://doi.org/10.26565/2617-409X-2020-6-12>.

Рагуля М.Р., Горальський А.П., Сокульський І.М., Колесник Н.А., Гутий Б.В. Анатомічні та морфологічні особливості серця свійської собаки (*Canis Lupus Familiaris L.*, 1758). *Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Ветеринарні науки*. 2024. № 26(113). С. 93–101. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11314>.

Слабий О. В. Кількісна морфологія гіпертрофованого серця. *Вісник наукових досліджень*. 2018. № 4. С. 1–9. <https://doi.org/10.11603/2415-8798.2017.4.8169>.

Слабий О. В. Ядерно-цитоплазматичні відношення у кардіоміоцитах та ендотеліоцитах передсердь легеневого серця. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*. 2017. № 4. С. 103–106. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2016.v0.i4.7089>.

Хомич В.Т., Мазуркевич Т.А., Дишляк Н.В., Стегней Ж.Г., Усенко С.І. Міжнародна ветеринарна гістологічна номенклатура: термінологічний словник – *Nomina histologica veterinaria* / за ред. В. Т. Хомича. Київ, 2019. 273 с.

Яблонська О.В. Використання лабораторних тварин у експериментах: метод. вказівки. Вид. центр НАУ, 2007. 316 с.

Anderson R.H., Ho S.Y. The morphology of the cardiac conduction system. *Novartis Found Symp*. 2023. Vol. 250. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12956321/> (дата звернення 05.01.2026).

Araújo Júnior H. N., Bezerra F. V. F., Oliveira R. E. M., Costa H. S. Oliveira, G. B., Moura C. E. B., Pereira A. F., Assis Neto A. C., Oliveira M. F. Morphology of the cardiovascular system in greater rhea (*Rhea americana americana Linnaeus*, 1758). *Medicina Veterinária*. 2021. Vol. 15(3). P. 174–181. <https://doi.org/10.26605/medvet-v15n3-3582>.

Bartsch R. P., Liu K. K., Bashan A., Ivanov P. Ch. Network Physiology: How Organ Systems Dynamically Interact. *PloS one*. 2015. Vol. 10(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142143>.

Belimenko M. S., Kosharniy V. V., Abdul-Ogly L. V., Kozlovskaya G. O. Morphometric Indicators of Rat Myocardium under the Action of General Hypothermia. *Ukrainian Journal of Medicine, Biology and Sports*. 2021. Vol. 2(30). P. 31–36. <https://doi.org/10.26693/jmbs06.02.031>.

- Bodnar Y, Trach Rosolovska S. Morphometric parameters of the left ventricular myocardium of rats of different ages with experimental diabetes mellitus. *Achievements of Clinical and Experimental Medicine*. 2011. Vol. 1(14). P. 28–33.
- Brown S. K., Sheikh A. M., Guzik T. J. Cardiovascular Research at the frontier of biomedical science. *Cardiovascular Research*. 2020. Vol. 116. P. 83–86. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa119>.
- Buchko O., Havryliak V., Yaremkevych O., Konechna R., Ohorodnyk N. Metabolic processes in the organism of animals under the action of plant extract. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2019. Vol. 10(2). P. 149–158. <https://doi.org/10.15421/021922>.
- Buijtendijk M.F.J., Barnett P., van den Hoff M.J. B. Development of the human heart. *American journal of medical genetics. Part C, Seminars in medical genetics*. 2020. Vol. 184(1). P. 7–22. <https://doi.org/10.1002/ajmg.c.31778>.
- Cooper D.M., Loxham M. Particulate matter and the airway epithelium: the special case of the underground? *European respiratory review: an official journal of the European Respiratory Society*. 2019. Vol. 28(153). <https://doi.org/10.1183/16000617.0066-2019>.
- Eckhardt C.M., Wu H. Environmental Exposures and Lung Aging: Molecular Mechanisms and Implications for Improving Respiratory Health. *Current environmental health reports*. 2021. Vol. 8(4). P. 281–293. <https://doi.org/10.1007/s40572-021-00328-2>.
- González M.L., Pividori S.M., Fosser G., Pontecorvo A.A., Franco-Riveros V.B., Tubbs R.S., Boezaart A.P., Reina M.A., Buchholz B. Innervation of the heart: Anatomical study with application to better understanding pathologies of the cardiac autonomies. *Clinical anatomy (New York, N.Y.)*. 2023. Vol. 36(3). P. 550–562. <https://doi.org/10.1002/ca.24017>.
- Haligür A, Dursun N. Morphological and morphometric investigation of the musculus papillaris and chordae tendineae of the donkey (*Equus asinus* L.). *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 2009. Vol. 8(4). P. 726–733.
- Horalskyi L. P., Ragulya M. R., Glukhova N. M., Sokulskiy I. M., Kolesnik N. L., Dunaievskaya O. F., Gutyj B. V., Goralska I. Y. Morphology and specifics of morphometry of lungs and myocardium of heart ventricles of cattle, sheep and horses. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2022. Vol. 13(1). P. 53–59. <https://doi.org/10.15421/022207>.
- Horalskyi L. P., Sokulskiy I. M., Kolesnik N. L., Gutyj B. V., Romaniuk R. K., Pavliuchenko O. V., Shevchuk S. Y., Maksymenko Y. V. Morphology and morphometric features of the cerebellum of poultry. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2024. Vol. 15(4). P. 679–687. <https://doi.org/10.15421/022498>.
- Horalskyi L., Sokulskiy I., Ragulya M., Kolesnik N., Ordin Y. Morphology, organo- and histometric features of the heart and lungs of a sexually mature domestic dog (*Canis Lupus Familiaris* L., 1758). *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 26(12). P. 9–21. <https://doi.org/10.48077/scihor12.2023.09>.
- Horrell H. D., Lindeque A., Farrell A. P., Seymour R. S., White C. R., Kruger K. M., Snelling E. P. Relationship between capillaries, mitochondria and maximum power of the heart: a meta-study from shrew to elephant. *Proceedings. Biological sciences*. 2022. Vol. 289(1968). <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.2461>.
- Jensen B., Christoffels V. M. Reptiles as a Model System to Study Heart Development. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*. 2020. Vol. 12(5). <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a037226>.
- Kodirov S. A. The neuronal control of cardiac functions in Molluscs. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology*. 2011. Vol. 160(2). P. 102–116. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2011.06.014>.
- Lehnertz K., Bröhl T., Rings T. The Human Organism as an Integrated Interaction Network: Recent Conceptual and Methodological Challenges. *Frontiers in physiology*. 2020. Vol. 11. P. 598694. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.598694>.
- Linask K. K. Regulation of heart morphology: current molecular and cellular perspectives on the coordinated emergence of cardiac form and function. *Birth defects research. Part C, Embryo today: reviews*. 2003. Vol. 69(1). P. 14–24. <https://doi.org/10.1002/bdrc.10004>.
- Mazo C., Salazar L., Corcho O., Trujillo M., Alegre E. A histological ontology of the human cardiovascular system. *Journal of biomedical semantics*. 2017. Vol. 8(1). P. 47. <https://doi.org/10.1186/s13326-017-0158-5>.
- Meijler F. L., Meijler T. D. Archetype, adaptation and the mammalian heart. *Netherlands heart journal*. 2011. Vol. 19(3). P. 142–148. <https://doi.org/10.1007/s12471-011-0086-4>.
- Michel M. Editorial: Comparative Studies of Energy Homeostasis in Vertebrates. *Frontiers in endocrinology*. 2018. Vol. 9. P. 1–3. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00291>.

- Monahan-Earley R., Dvorak A. M., Aird W. C. Evolutionary origins of the blood vascular system and endothelium. *Journal of thrombosis and haemostasis*. 2013. Vol. 11. P. 46–66. <https://doi.org/10.1111/jth.12253>.
- Raiola M., Sendra M., Torres M. Imaging Approaches and the Quantitative Analysis of Heart Development. *Journal of cardiovascular development and disease*. 2023. Vol. 10(4). <https://doi.org/10.3390/jcdd10040145>.
- Rowlatt U. Comparative anatomy of the heart of mammals. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 1990. Vol. 98(1). P. 73–110. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1990.tb01220.x>.
- Schmidt-Ukaj S., Gumpenberger M., Posautz A., Strauss V. The Amphibian Heart. *The veterinary clinics of North America. Exotic animal practice*. 2022. Vol. 25(2). P. 367–382. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2022.01.002>.
- Shah A., Goerlich C. E., Pasrija C., Hirsch J., Fisher S., Odonkor P., Strauss E., Ayares D., Mohiuddin M. M., Griffith B. P. Anatomical Differences Between Human and Pig Hearts and Their Relevance for Cardiac Xenotransplantation Surgical Technique. *JACC. Case reports*. 2022. Vol. 4(16). P. 1049–1052. <https://doi.org/10.1016/j.jaccas.2022.06.011>.
- Sikora V. Z., Yarmolenko O. S. Age features of morfofunctional changes in normal cardiac muscle And under the influence of damaging factors (literature review). *Journal of Clinical and Experimental Medical Research*. 2013. Vol. 1(3). P. 263–274.
- Simões-Costa M. S., Vasconcelos M., Sampaio A. C., Cravo R. M., Linhares V. L., Hochgreb T., Yan C. Y., Davidson B., Xavier-Neto J. The evolutionary origin of cardiac chambers. *Developmental biology*. 2005. Vol. 277(1). P. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2004.09.026>.
- Somberg J. The Importance of Cardiology Research. *Cardiology research*. 2020. Vol. 11(6). P. 355–355. <https://doi.org/10.14740/cr1173>.
- Stephenson A., Adams J. W., Vaccarezza M. The vertebrate heart: an evolutionary perspective. *Journal of anatomy*. 2017. Vol. 231(6). P. 787–797. <https://doi.org/10.1111/joa.12687>.
- Vansiatskaia V. K., Kyrpaneva E. A. Morphometric and anatomical features structures of the heart in cattle, pigs and camel. *Agriculture – problems and prospects*. 2014. Vol. 25. P. 29–35.
- Wishart, D.S. Metabolomics for Investigating Physiological and Pathophysiological Processes. *Physiological reviews*. 2019. Vol. 99(4). P. 1819–1875. <https://doi.org/10.1152/physrev.00035.2018>.

References

- Hnatiuk, M.S., Tatarchuk, L.V., Pryshliak, A.M., & Lavreniuk, V.Ye. (2010). Vikovi osoblyvosti zmin yaderno-tsytoplazmatychnykh vidnoshen v kardiomiotsytakh chastyn sertsia doslidnykh tvaryn [Age-related changes in nucleo-cytoplasmic relations in cardiomyocytes of heart parts in experimental animals]. *Tavrisheskyi medyko-biolohichniy visnyk [Taurida Medical-Biological Herald]*, 4(52), 29–32. [in Ukrainian].
- Horalskyi, L.P., Khomych, V.T., & Kononskyi, O.I. (2019). Osnovy histolohichnoyi tekhniky ta morfofunktsionalnykh metodiv doslidzhennia v normi ta patolohiyi [Fundamentals of histological technique and morphofunctional research methods in normal and pathology]. Polissia, Zhytomyr. [in Ukrainian].
- Hryhorieva, O. A., & Cherniavskyi, A. V. (2018). Morphometrychni osoblyvosti stinok shlunochkiv ta mizhshlunochkovoi perehorodky sertsia shchuriv u normi ta pislia vnutrishnoplidnoi dii antyheny [Morphometric features of ventricular walls and interventricular septum of rat heart in normal conditions and after intrauterine action of antigen]. *Visnyk naukovykh doslidzen [Bulletin of Scientific Research]*, 2, 129–132. <https://doi.org/10.11603/2415-8798.2018.2.8981> [in Ukrainian].
- Demus, N. V. (2015). Orhanometriia sertsia telychok zalezno vid typu avtonomnoi rehulatsii sertsevoho rytmu. [Organometry of the heart of heifers depending on autonomic regulation of heart rate]. *Naukovyi visnyk LNUVMB imeni S.Z. Gzhytskoho. Seriya: Veterynarni nauky [Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences]*, 17(1), 24–29. <https://nvlvet.com.ua/index.php/journal/article/view/260/261> (access date 10.12.2025). [in Ukrainian].
- Yevropeiska konventsia pro zakhyst khrebetnykh tvaryn, shcho vykorystovuiutsia dlia doslidnykh ta inshykh naukovykh tslei [European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes]. (1986, March 18). [Electronic resource]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_137#Text (access date 07.06.2025). [in Ukrainian].
- Zhurenko, O. V., Karpovskyi, V. I., Danchuk, O. V., & Kravchenko-Dovha, Yu. V. (2018). Vmist kaltsiu ta fosforu v krovi koriv z riznym tonusom vehetatyvnoi nervovoi systemy [Content of

calcium and phosphorus in the blood of cows with different tone of the autonomic nervous system]. *Naukovyi visnyk LNU veterinary medicine and biotechnologies. Seria: Veterinary Sciences*, 20(92), 8–12. <https://doi.org/10.32718/nlvvet9202>. [in Ukrainian].

Zakon Ukrainy № 3447-IV «Pro zakhyst tvaryn vid zhorstokoho povodzhennia». [Law of Ukraine №. 3447-IV “About protection of animals from cruelty”. 2006, February]. [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3447-15#Text> (access date 07.06.2025). [in Ukrainian].

Kots, S.M., Kots, V.P., & Kovalenko, P.H. (2021). Dynamika pokaznykiv funktsionalnoho stanu sertsevo-sudynnoi systemy ditei shkilnoho viku pid vplyvom korektsiinoho kompleksu [Dynamics of cardiovascular functional state indicators in school-age children under the influence of a correctional complex]. *Pryrodnychy almanakh [Natural Science Almanac]*, 31, 35–44. <https://doi.org/10.32999/ksu2524-0838/2021-31-4>. [in Ukrainian].

Mits, I. R., Denefil, O. V., & Andriishyn, O. P. (2016). Morfolohichni zminy vnutrishnikh orhaniv u tvaryn riznoi stati, yaki zaznaly khronichnoho stresu [Morphological changes of internal organs in animals of different sex subjected to chronic stress]. *Visnyk naukovykh doslidzhen [Bulletin of Scientific Research]*, 3, 107–110. <https://doi.org/10.11603/2415-8798.2016.3.6994>. [in Ukrainian].

Nychporuk, S. M., Radzykhovskiy, M. L., & Hutyi, B. V. (2022). Ohliad: evtanaziia i sposoby evtanazii tvaryn [Review: Euthanasia and methods of animal euthanasia]. *Naukovyi visnyk LNUVMB imeni S.Z. Gzhytskoho. Seria: Veterinary Sciences*, 24(105), 141–148. <https://doi.org/10.32718/nlvvet10520>. [in Ukrainian].

Protsenko, O. S., Shapoval, O. V., Teslenko, A. A., & Vorona, D. A. (2020). Rozvytok ta budova struktur sertsevo-sudynnoi systemy: teoretychni ta praktychni aspekty vyvchennia (chastyna 1) [Development and structure of cardiovascular system structures: Theoretical and practical aspects of study (Part 1)]. *Aktualni problemy suchasnoi medytsyny [Actual Problems of Modern Medicine]*, 6, 93–107. <https://doi.org/10.26565/2617-409X-2020-6-12>. [in Ukrainian].

Rahulia, M. R., Horalskyi, L. P., Sokulskyi, I. M., Kolesnyk, N. L., & Hutyi, B. V. (2024). Anatomichni ta morfolohichni osoblyvosti sertsia sviiskoi sobaky (Canis Lupus Familiaris L., 1758) [Anatomical and morphological features of the heart of the domestic dog (Canis Lupus Familiaris L., 1758)]. *Naukovyi visnyk LNU veterinary medicine and biotechnologies. Seria: Veterinary Sciences*, 26(113), 17–23. <https://doi.org/10.32718/nlvvet11314>. [in Ukrainian].

Slabyi, O. B. (2018). Kilkisna morfolohiia hipertrofovanoho sertsia [Quantitative morphology of the hypertrophied heart]. *Visnyk naukovykh doslidzhen [Bulletin of Scientific Research]*, 4, 1–9. <https://doi.org/10.11603/2415-8798.2017.4.8169>. [in Ukrainian].

Slabyi, O. B. (2017). Yaderno-tsytoplazmatychni vidnoshennia u kardiomiotsytakh ta endotelitsytakh peredserd lehenevoho sertsia [Nucleo-cytoplasmic relations in cardiomyocytes and endotheliocytes of the atria of the pulmonary heart]. *Zdobutky klinichnoi i eksperymentalnoi medytsyny [Achievements of Clinical and Experimental Medicine]*, 4, 103–106. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2016.v0.i4.7089>. [in Ukrainian].

Khomych, V. T., Mazurkevych, T. A., Dyshliuk, N. V., Stehnei, Zh. H., & Usenko, S. I. (2019). Mizhnarodna veterinaryarna histolohichna nomenklatura: Terminolohichnyi slovnyk – Nomina histologica veterinaria [International veterinary histological nomenclature: Terminological dictionary – Nomina histologica veterinaria]. Kyiv. [in Ukrainian].

Yablonska, O. V. (2007). Vykorystannia laboratornykh tvaryn u eksperymentakh: Metodychni vkazivky [Use of laboratory animals in experiments: Methodological guidelines]. Vyd. tsentr NAU. [in Ukrainian].

Anderson, R. H., & Ho, S. Y. (2003). The morphology of the cardiac conduction system. *Novartis Foundation Symposium*, 250. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12956321/>. (access date 07.06.2025). [in English].

Araújo Júnior, H. N., Bezerra, F. V. F., Oliveira, R. E. M., Costa, H. S., Oliveira, G. B., Moura, C. E. B., Pereira, A. F., Assis Neto, A. C., & Oliveira, M. F. (2021). Morphology of the cardiovascular system in greater rhea (Rhea americana americana Linnaeus, 1758). *Medicina Veterinária*, 15(3), 174–181. <https://doi.org/10.26605/medvet-v15n3-3582>. [in English].

Bartsch, R. P., Liu, K. K., Bashan, A., & Ivanov, P. Ch. (2015). Network physiology: How organ systems dynamically interact. *PLOS ONE*, 10(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142143>. [in English].

- Belimenko, M. S., Kosharniy, V. V., Abdul-Ogly, L. V., & Kozlovskaya, G. O. (2021). Morphometric indicators of rat myocardium under the action of general hypothermia. *Ukrainian Journal of Medicine, Biology and Sports*, 2(30), 31–36. <https://doi.org/10.26693/jmbs06.02.031> . [in English].
- Bodnar, Y., & Trach Rosolovska, S. (2011). Morphometric parameters of the left ventricular myocardium of rats of different ages with experimental diabetes mellitus. *Achievements of Clinical and Experimental Medicine*, 1(14), 28–33. [in English].
- Brown, S. K., Sheikh, A. M., & Guzik, T. J. (2020). Cardiovascular research at the frontier of biomedical science. *Cardiovascular Research*, 116(4), 83–86. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa119>. [in English].
- Buchko, O., Havryliak, V., Yaremkevych, O., Konechna, R., & Ohorodnyk, N. (2019). Metabolic processes in the organism of animals under the action of plant extract. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 10(2), 149–158. <https://doi.org/10.15421/021922> [in English].
- Buijtenlijk, M. F. J., Barnett, P., & van den Hoff, M. J. B. (2020). Development of the human heart. *American Journal of Medical Genetics Part C: Seminars in Medical Genetics*, 184(1), 7–22. <https://doi.org/10.1002/ajmg.c.31778> . [in English].
- Cooper, D. M., & Loxham, M. (2019). Particulate matter and the airway epithelium: The special case of the underground? *European respiratory review: an official journal of the European Respiratory Society*, 28(153). <https://doi.org/10.1183/16000617.0066-2019> . [in English].
- Eckhardt, C. M., & Wu, H. (2021). Environmental exposures and lung aging: Molecular mechanisms and implications for improving respiratory health. *Current Environmental Health Reports*, 8(4), 281–293. <https://doi.org/10.1007/s40572-021-00328-2> . [in English].
- González, M. L., Pividori, S. M., Fosser, G., Pontecorvo, A. A., Franco-Riveros, V. B., Tubbs, R. S., Boezaart, A. P., Reina, M. A., & Buchholz, B. (2023). Innervation of the heart: Anatomical study with application to better understanding pathologies of the cardiac autonomies. *Clinical Anatomy, (New York, N.Y.)*, 36(3), 550–562. <https://doi.org/10.1002/ca.24017> . [in English].
- Haligür, A., & Dursun, N. (2009). Morphological and morphometric investigation of the musculus papillaris and chordae tendineae of the donkey (*Equus asinus* L.). *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(4), 726–733. [in English].
- Horalskyi, L. P., Ragulya, M. R., Glukhova, N. M., Sokulskiy, I. M., Kolesnik, N. L., Dunaievskaya, O. F., Gutyj, B. V., & Goralska, I. Y. (2022). Morphology and specifics of morphometry of lungs and myocardium of heart ventricles of cattle, sheep and horses. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 13(1), 53–59. <https://doi.org/10.15421/022207> . [in English].
- Horalskyi, L. P., Sokulskiy, I. M., Kolesnik, N. L., Gutyj, B. V., Romaniuk, R. K., Pavliuchenko, O. V., Shevchuk, S. Y., & Maksymenko, Y. V. (2024). Morphology and morphometric features of the cerebellum of poultry. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 15(4), 679–687. <https://doi.org/10.15421/022498> . [in English].
- Horalskyi, L., Sokulskiy, I., Ragulya, M., Kolesnik, N., & Ordin, Y. (2023). Morphology, organo- and histometric features of the heart and lungs of a sexually mature domestic dog (*Canis lupus familiaris* L., 1758). *Scientific Horizons*, 26(12), 9–21. <https://doi.org/10.48077/scihor12.2023.09>. [in English].
- Horrell, H. D., Lindeque, A., Farrell, A. P., Seymour, R. S., White, C. R., Kruger, K. M., & Snelling, E. P. (2022). Relationship between capillaries, mitochondria and maximum power of the heart: A meta-study from shrew to elephant. *Proceedings Biological Sciences*, 289(1968). <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.2461> . [in English].
- Jensen, B., & Christoffels, V. M. (2020). Reptiles as a model system to study heart development. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 12(5). <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a037226> . [in English].
- Kodirov, S. A. (2011). The neuronal control of cardiac functions in molluscs. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 160(2), 102–116. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2011.06.014> . [in English].
- Lehnertz, K., Bröhl, T., & Rings, T. (2020). The human organism as an integrated interaction network: Recent conceptual and methodological challenges. *Frontiers in Physiology*, 11, Article 598694. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.598694> . [in English].
- Linask, K. K. (2003). Regulation of heart morphology: Current molecular and cellular perspectives on the coordinated emergence of cardiac form and function. *Birth Defects Research Part C: Embryo Today: Reviews*, 69(1), 14–24. <https://doi.org/10.1002/bdrc.10004> . [in English].
- Mazo, C., Salazar, L., Corcho, O., Trujillo, M., & Alegre, E. (2017). A histological ontology of the human cardiovascular system. *Journal of Biomedical Semantics*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s13326-017-0158-5>. [in English].

- Meijler, F. L., & Meijler, T. D. (2011). Archetype, adaptation and the mammalian heart. *Netherlands Heart Journal journal*, 19(3), 142–148. <https://doi.org/10.1007/s12471-011-0086-4> . [in English].
- Michel, M. (2018). Editorial: Comparative studies of energy homeostasis in vertebrates. *Frontiers in Endocrinology*, 9, 1–3. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00291> . [in English].
- Monahan-Earley, R., Dvorak, A. M., & Aird, W. C. (2013). Evolutionary origins of the blood vascular system and endothelium. *Journal of Thrombosis and Haemostasis*, 11, 46–66. <https://doi.org/10.1111/jth.12253> . [in English].
- Raiola, M., Sendra, M., & Torres, M. (2023). Imaging approaches and the quantitative analysis of heart development. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/jcdd10040145> . [in English].
- Rowlatt, U. (1990). Comparative anatomy of the heart of mammals. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 98(1), 73–110. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1990.tb01220.x> . [in English].
- Schmidt-Ukaj, S., Gumpfenberger, M., Posautz, A., & Strauss, V. (2022). The amphibian heart. *The Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*, 25(2), 367–382. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2022.01.002> [in English].
- Shah, A., Goerlich, C. E., Pasrija, C., Hirsch, J., Fisher, S., Odonkor, P., Strauss, E., Ayares, D., Mohiuddin, M. M., & Griffith, B. P. (2022). Anatomical differences between human and pig hearts and their relevance for cardiac xenotransplantation surgical technique. *JACC: Case Reports*, 4(16), 1049–1052. <https://doi.org/10.1016/j.jaccas.2022.06.011> . [in English].
- Sikora, V. Z., & Yarmolenko, O. S. (2013). Age features of morphofunctional changes in normal cardiac muscle and under the influence of damaging factors (literature review). *Journal of Clinical and Experimental Medical Research*, 1 (3), 263–274. [in English].
- Simões-Costa, M. S., Vasconcelos, M., Sampaio, A. C., Cravo, R. M., Linhares, V. L., Hochgreb, T., Yan, C. Y., Davidson, B., & Xavier-Neto, J. (2005). The evolutionary origin of cardiac chambers. *Developmental Biology*, 277(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2004.09.026> . [in English].
- Somberg, J. (2020). The importance of cardiology research. *Cardiology Research*, 11(6), 355. <https://doi.org/10.14740/cr1173> . [in English].
- Stephenson, A., Adams, J. W., & Vaccarezza, M. (2017). The vertebrate heart: An evolutionary perspective. *Journal of Anatomy*, 231(6), 787–797. <https://doi.org/10.1111/joa.12687> . [in English].
- Vansiatskaia, V. K., & Kyrpaneva, E. A. (2014). Morphometric and anatomical features structures of the heart in cattle, pigs and camel. *Agriculture: Problems and Prospects*, 25, 29–35. [in English].
- Wishart, D. S. (2019). Metabolomics for investigating physiological and pathophysiological processes. *Physiological Reviews*, 99(4), 1819–1875. <https://doi.org/10.1152/physrev.00035.2018>. [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 23.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 15.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 16
Український журнал природничих наук
№ 16

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

ГЕОГРАФІЯ

UDC 911.5:392.8(=161.2) (477.41/.42)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.7>

INTERSECTION OF INTERRELATIONS BETWEEN GASTRONOMIC LANDSCAPE AND CUISINES OF ETHNOSES OF RIGHT-BANK POLISSYA OF UKRAINE

I. K. Nesterchuk¹

The article examines the intersection of relationships between the gastronomic landscape and the cuisines of the ethnic groups of Right-bank Polissya of Ukraine as a key element of constructive geography. The gastronomic landscape appears as a dynamic system where the natural resource potential (forests, swamps, sand plains, sod-podzolic soils) determine the culinary traditions of Ukrainians (Polishchuks living in this territory), Poles, Belarusians, Jews, Czechs and other ethnic groups. The relevance is due to the need to preserve the gastronomic heritage in the conditions of globalization and sustainable development. The landscape of the Right-Bank Polissya of Ukraine influences the gastronomy of ethnic groups through available resources, soils, climate and relief, shaping local products (terroirs) and local dishes (specialties), technologies and diets. The gastronomic landscape determines gastronomy through three channels: natural resource: forests (mushrooms), swamps (berries), rivers (fish); soil and climate: podzolic soils limit vegetables, stimulating cereal cereals; temperate climate (vegetation 180 days) ensures seasonality.

To systematize the historiography of landscape and ethnographic studies of ethnic groups; to analyze the natural resource potential of the Right-Bank Polissya of Ukraine; to correlate the gastronomic landscape with the gastronomic practices of ethnic groups, to identify the terroirs and specialties of the region. The methodology includes field ethnographic reconnaissance (interviews of 150 informants, a bank of 200 recipes), physical and geographical analysis, and the creation of a bank of Polissya specialties. The novelty lies in the concept of a "gastronomic landscape" that integrates biodiversity with ethno-culinary cuisine.

Key words: gastronomic landscape, ethnic cuisines, Right-Bank Polissya of Ukraine, gastronomic identity of ethnic groups, autochthonous products (terroirs) and dishes (specialties).

ПЕРЕТИН ВЗАЄМОВІДНОСИН МІЖ ГАСТРОНОМІЧНИМ ЛАНДШАФТОМ ТА КУХНЯМИ ЕТНОСІВ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

I. K. Нестерчук

У статті розглянуто перетин взаємозв'язків між гастрономічним ландшафтом та кухнями етносів Правобережного Полісся України як ключовим елементом конструктивної географії. Гастрономічний ландшафт постає динамічною системою, де природно-ресурсний потенціал

¹ D. in Geography, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Ecology and Geography
(Ivan Franko Zhytomyr State University, Zhytomyr)
e-mail: nester_geoe@ukr.net
ORCID: 0009-0004-5721-3928

(ліси, болота, зандрові рівнини, дерново-підзолисті ґрунти) детермінують кулінарні традиції українців (поліщуків, які проживають на цій території), поляків, білорусів, євреїв, чехів та інших етносів. Актуальність зумовлена потребою збереження гастрономічної спадщини в умовах глобалізації та сталого розвитку. Ландшафт Правобережного Полісся України, впливає на гастрономію етносів через доступні ресурси, ґрунти, клімат та рельєф, формуючи локальні продукти (терруари) та місцеві страви (спеціалітети), технології та раціони. Гастрономічний ландшафт детермінує гастрономію трьома каналами: природно-ресурсний: ліси (гриби), болота (ягоди), річки (риба); ґрунтово-кліматичний: підзолисті зандри обмежують овочі, стимулюючи круп'яні каші; помірний клімат (вегетація 180 днів) забезпечує сезонність.

Систематизувати історіографію ландшафтно-етнографічних студій етносів; проаналізувати природно-ресурсний потенціал Правобережного Полісся України; провести кореляцію гастрономічного ландшафту з гастрономічними практиками етносів, визначити терруари та спеціалітети регіону. Методологія охоплює польові етнографічні розвідки (інтерв'ю 150 інформантів, банк 200 рецептів), фізико-географічний аналіз, створення банку поліських спеціалітетів. Новизна полягає у концепції «гастрономічного ландшафту», що інтегрує біорізноманіття з етнокулінарією.

Ключові слова: гастрономічний ландшафт, етнічні кухні, Правобережне Полісся України, гастрономічна ідентичність етносів, автохтонні продукти (терруари) та страви (спеціалітети).

Introduction

Geographical typology is an approach to classifying ethnic groups based on their territorial proximity and spatial affinity. Its purpose is to show how different peoples are settled within a certain geographical space, usually a continuous (continental) area, where their settlements are not separated by significant territorial gaps.

The term “Polissya” was first recorded in the Ipatiev Chronicle in the form “Pol'sie” (Повість ..., 1990), which attests to its ancient origin and etymological connection with forest landscapes. Archaeological and written sources confirm the early settlement of this territory, as evidenced by Herodotus' (5th century BC) references to the Nevrahs – the ancestors of the Polissians (Скржинська, 2004), as well as data from the Galician-Volhynian Chronicle of 1274. Of particular importance are the Polish chronicles of the 15th–16th centuries: Jan Długosz (Нестерчук, 2023). Martin Kromer (Нестерчук, 2023) and Matvii Strykovskyi systematized the idea of Polissia as an ethnographically and landscape-defined region with characteristic features of settled agriculture and forestry (Нестерчук, 2023).

Over the centuries, ethnographic information about Polissya has been accumulated in travel notes, chronicles, inventory descriptions, and historical and legal documentation. At the turn of the 18th century, Volhynia was first systematically recorded in the travel notes of civil servant P. Kontrym (Нестерчук, 2022, a). Systematic scientific research on Polissya began in the first half of the 19th century, which was reflected in a number of specialized studies, in particular in the work

“Ancient Poland,” which details the features of Volhynian Polissya (Нестерчук, 2023; Нестерчук, 2022, b).

Ethnographer P. De La Fliz conducted a thorough study of Ukrainian Polissya as part of a commission to describe the provinces of the Kyiv educational district. Comprehensive ethnographic and geographical studies revealed the specifics of economic activity, traditional crafts, handicrafts, and tools of the Polissya population (Де ля Фліз, 1854). In the 1860s and 1870s, P. Chubinsky's expeditionary research conceptualized Polissya as a discrete ethnographic region, emphasizing its distinctive features in material and spiritual cultures (Чубинський, 1995). Volyn Polissya is described in detail in monographs by Polish authors T. Stecki (Stecki, 1880), J. Hoffman (Hoffman, 1938), as well as in the synthetic studies of G. Bondarenko (Бондаренко, 2009) and R. Radovich (Радович, 1994). Of particular importance for the popularization of scientific knowledge about the region was the long-term research of Polish ethnographer and folklorist O. Kolberg, who systematically documented the architecture of dwellings, traditional clothing, and food practices of the Polissya people (Kolberg, 1968).

The process of Slavicization of Polissya coincided with the dawn of a new era and was accompanied by complex ethnolinguistic transformations and anthropogenetic adaptations that determined the genesis of the regional population. The formation of ethnic groups took place against the backdrop of integration processes between local communities, which contributed to the intensification of genetic exchange and homogenization

of populations. The consolidation of the East Slavic ethnic group was cemented in the specific gene–demographic structure of Polissya, where spatial gradients of racial characteristics demonstrate smooth transitions between local variations, blurring the discrete boundaries of anthropological types. According to S. Segeda's classification, the population of Ukrainian Polissya belongs to the Carpathian–Dnieper anthropological complex with distinct Volyn and Polissya variants (Середа, 1968).

Materials and methods

The source base includes archival funds (ethnographic descriptions, recipes), cartographic materials (landscape maps of Polissya), field notes from expeditions, modern databases of autochthonous products and dishes (banks of Polissya recipes), statistical data on tourism, and soil maps of the region.

A comprehensive landscape–ethnographic approach was used to identify correlations between the gastronomic landscape (forests, swamps, soils) and ethnic cuisines:

Field ethnographic research: Expeditions with interviews of elders, recording recipes (mushroom soup, deruny), tastings; creation of databases of indigenous dishes.

Physical–geographical and soil analysis: mapping of landscapes (sand dunes, moraines), correlation with diets (mushroom dishes on sandy soils).

Historiographical and bibliometric analysis: systematization of literature on Polissya gastronomy, typification of ethnic cuisines (Ukrainian, Polish, Jewish).

Cartographic and GIS methods: modeling of gastronomic clusters, maps of tourism potential.

These methods provide an objective study of the interrelationships between landscape and cuisine, which is relevant in the field of constructive geography.

Results and discussion

The population of Ukrainian Polissya is characterized by two main sub–ethnonyms: the western variant – “Polishchuky,” and the eastern (left–bank) variant – “Lytvyn” (Макапчук, 2012). These self–designations reflect ethnic self–awareness; the ethnonym “Polishchuky” sometimes acquired a pejorative connotation, being associated with archaic economic practices and everyday traditions. The sub–ethnonym “Lytvyny” is attested in 18th–century sources, as confirmed by authors of descriptive works and ethnographers. Since the 20th century, the indigenous population of the Right–Bank Polissya region of Ukraine has

begun to perceive “Polishchuk” as the dominant autoethnonym (Нестерчук, 2023).

An analysis of the material culture of the Polissya people reveals its marked uniformity, which is due to the homogeneity of the Polissya natural resource complex, the genetic kinship of the settled groups, and the dominance of similar agro–industrial practices (Нестерчук, 2023). The political upheavals of the 20th century significantly transformed the Polissya people's dietary traditions, ethnocultural heritage, and economic structure. Foreign rule (Polish and Soviet) radically changed the traditional forms of land use and crafts of the peasants. The Holodomor and repressions caused deep psychological trauma to the collective consciousness, which affected the sociocultural dynamics of the region.

Our scientific research covers Volyn Polissya, Zhytomyr Polissya, and part of Kyiv Polissya on the right bank of the Dnipro River, which visualizes mosaic landscape complexes with corresponding agricultural practices and food traditions of the ethnic groups living there (Нестерчук, 2022 c; Kraszewski, 1840).

The gastronomic identity of Volyn Polissya (Volyn and Rivne regions) is defined by a variety of flour products: daily bread, doughnuts, flatbread, unleavened cakes, as well as pies filled with cheese, poppy seeds, beans, apples, and other fruits; noodles, pancakes. Among boiled dishes, dumplings (with cheese, potatoes, cherries), dumplings, and rye and barley flour porridge dominate. Cereal porridges were made from wheat, barley (yashni), buckwheat, oats, and millet; kvass was made from buckwheat flour and rye malt, and oatmeal was used for dzhur. There was a wide variety of first courses: borscht, soups, potravki, and soups. Meat dishes included boiled, fried, sausages, and aspic; intestines from slaughtered animals were baked with buckwheat, onions, lard, and milk. Eggs were eaten boiled, fried in lard, or scrambled with milk. Dairy products included fresh, steamed, and sour milk, butter, cheese, buttermilk, and whey. Ritual cookies—paska, knysh, korovai, shyshky, and “guski”—had sacred significance. From the 19th century onwards, self–sufficiency was supplemented by shop–bought goods (sugar, rice, herring), along with products from gathering (mushrooms, berries), fishing, and hunting. In a globalized world, culinary culture functions as a cultural interface that unites history, traditions, and lifestyle.

Zhytomyr Polissya (Zhytomyr region) has a specific diet of local ethnic groups (Ukrainians,

Poles, Russians, Belarusians, Czechs, Jews, and others), which was closely dependent on the natural resource potential of the landscapes: forest geosystems produced foods such as porridge, mushroom soups, and potato pancakes, while river geosystems produced fish borscht and fried fish. Marsh geosystems produced cranberries and blueberries for the diet of ethnic groups, the Teteriv and Uzh rivers produced fish, and forest soils produced vegetables and grains. This shaped a diet based on natural products: mushrooms (honey mushrooms, boletus), berries, fish, potatoes, cereals, and sauerkraut. Poor soil limited meat to holidays, emphasizing plant and mushroom dishes. The basis was porridge (kulish, millet or buckwheat groats), borscht with fish or mushrooms, deruny made from grated potatoes, varenyky with blueberries or cabbage, and potato babka. Mushrooms were dried for winter, berries were preserved for compote or kvass, and meat (pork, poultry) was rare, usually in the form of sausages or stuffed cabbage rolls.

Kyiv Polissya on the right bank of the Dnieper (districts north of Kyiv, such as Vyshhorod, Ivankiv) is distinguished by sandy-moraine plains, sod-podzolic soils, pine and oak-pine forests, swamps, and tributaries of the Dnieper River, which provide biodiversity with mushrooms, berries (blueberries, lingonberries), fish, and vegetable crops. The food traditions of Ukrainians, Poles, Belarusians, Jews, and other ethnic groups correlated with these landscapes: the forests dictated mushroom soups and dumplings with berries, the rivers dictated fish borscht, and the poor soils dictated porridge made from grains and potatoes, borscht with nettles or sorrel from the meadow landscapes. The landscape features of the Right Bank of the Kyiv Polissya are moraine-hilly plains with pine forests (main species: pine, oak, birch), swamps (cranberries, blueberries), sandy soils for berries and mushrooms, and river valleys with fish (pike, perch). Agricultural land in the southern part allowed for the cultivation of potatoes, grains, and cabbage, limiting meat due to poor soil. This shaped a plant- and mushroom-based diet with seasonal products. The region's forests and swamps provided mushrooms and berries for traditional dishes.

Ethnic cuisines act as mediators between people, creating a space for communication. The history of Polissya cuisine, cooking techniques, terroirs, and specialties is based on the landscape, in particular the gastronomic landscape, which takes on the function of inter-

preting Polissya cuisine through the prism of constructive geography, ensuring the cultural authenticity of the Right Bank Polissya of Ukraine and the sustainable development of the region (Nesterchuk, 2024).

Therefore, there is a scientific gap between the gastronomic landscape and the cuisines of ethnic groups in a constructive-geographical dimension, which requires research. The Right Bank Polissya region of Ukraine is distinguished by its ethnoculinary diversity, due to the multi-ethnic nature of its population: Ukrainians-Polissians, Belarusians-Lithuanians, Poles, Jews, Czechs, Armenians, Western Tatars, Azerbaijanis, and others (Макарчук, 2012). Forest geosystems, marsh complexes, and river valleys have formed the local natural resource potential that has determined the culinary codes of individual ethnic groups.

The Right Bank Polissya region of Ukraine is home to ethnic groups with their own unique gastronomic practices, which are presented in Tables 1–3.

Therefore, Polissya cuisine dominates the gastronomic landscape (Нестерчук і Іванов, 2025). Polissya residents form the core of the gastronomic landscape of the Right Bank Polissya region of Ukraine. Forest-steppe resources (mushrooms, berries, game, fish) determine the archetypal dishes: cereal porridges (yashni, kutia, dzhur) – adaptation to the humid climate, kissels (Polissya kissel) – preservation of berries, matsik (kavruk) – dried cheese product for haymaking. The right bank of Polissya in Ukraine is a zone of gastronomic diffusion: Jewish-Polissya fusion: forshmak with local fish, with the addition of Polissya mushrooms; Czech-Ukrainian: dumplings with Polissya potatoes; Tatar-Polissya: manti with local lamb and blueberries. The agricultural vegetation of the Right Bank Polissya forms a specific gastronomic landscape, adapted to the humid climate and the predominance of sod-podzolic and peat-bog soils.

Main areas of crop production:

- Grain crops occupy a leading position: rye, oats, barley, triticale, corn, legumes (peas, beans, lupins, vetch), which thrive in conditions of excessive moisture and moderate fertility;
- Potato farming is traditionally well developed, forming the basis of the Polissya diet and combined with the cultivation of fodder crops for livestock.
- Among industrial crops, flax and hops have historically been important, but rapeseed and soybeans are now gaining ground, especially on drained and cultivated land.

Table 1

Cuisine of ethnic groups in the Right Bank Polissya region of Ukraine:
 Ukrainians, Russians, Belarusians, Poles, Germans (Нестерчук, 2023)

Ethnic group	Local dish (specialty), late 19th – early 20th century
Ukrainians	Porridges, broths, oat tolokno, kysil (fruit or berry jelly), kvasha, zatirka, komy, dumplings (varenyky), baked bread, pundyky, pancakes (blyntsi, nalyshnyky), rolled pastries (zavyvanyky), borsch, cold soup (kholodnyk), cabbage soup (kapusniak), boiled potatoes (“myachka”, “kamachka”, “mniolka”), potato pancakes (deruny, dranyky, terchanyky). Pickled foods included cucumbers, cabbage, apples (“Antonovka”). Mushrooms were known as the “second meat”: honey mushrooms, aspen mushrooms, birch boletes. Meat was usually eaten only on holidays (mainly pork and lard; beef was scarce). Blood sausage (krovianka) was prepared from pig intestines stuffed with blood, porridge, and milk. Lamb was eaten occasionally, horse meat was not consumed. Festive dishes included stuffed cabbage rolls (holubtsi), sausages, kendyukh, and aspic (kholodets). Millet dishes included rubtsi, khliaky, and fliaky; lemishka with fried lard cracklings; salted potatoes (solonyky). Eggs were eaten boiled or fried (usually on Sundays). Fish dishes from river fish were relatively rare; fish was fried or stewed with sour cream. Dairy products were constantly present on peasant tables. Beverages included beer and mead; tea and coffee were generally not consumed. Traditional drinks included kvass (brusnichnyk, kalynovnyk, yahidnyk), uzvar, birch and viburnum sap, often flavored with dried fruits, honeycomb pieces, roasted grain, barley, or crusts of dried bread. A specific drink called “omta” was consumed exclusively by the Polissian population.
Russians	Khlebova (bread soup), shchi (cabbage soup), kalya (pickle soups made with salted cucumbers), borscht, broths and fish soup (ukha), solyanka, kulaga, solomakha, zavarykha, boltushka. Borscht differed by the addition of a single fermented beetroot. Also popular were okroshka, stewed meat (dushenina), fermented and soaked vegetables and fruits, pies, fish dishes, sbiten, and tea prepared using a samovar.
Belarusians	Krupnik, oat porridge, saladukha, rauhenya, putra, kalatukha, bovtukha, zatirka. From buckwheat flour: kamy, kletski, halushky, varenina, pleshchanyky, lapuny, skovorodnyky. Beet dishes (buriaky), zakolota, potato pancakes (draniki, dzeruny), which became a hallmark of the ethnic cuisine. Mushrooms (honey mushrooms, saffron milk caps, champignons, russulas, chanterelles, butter mushrooms) were consumed salted or fresh. Meat (pork, lamb, poultry) was eaten mostly during holidays. A ritual beverage was “christening sbiten”, which included horseradish, radish, honey, and salt; such a drink was not prepared by other ethnic groups.
Poles	Żur (sour rye soup). Sour dishes were popular among Polish peasants: kwaśnica (sauerkraut soup), barszcz (fermented beet soup). Also common were porridges, kluski, ciasteczko, potatoes (ziemniak), dumplings (pierogi), mushroom and meat dishes including bigos, zacierka, makaron, łazanki, marzipan, the cake Napoleon, korovai, and roast meat. Coffee substitutes made from cereals were common, as well as tea from natural field or forest herbs. Milk was not widely consumed. Lean soups and light borscht with beans were prepared during fasting periods. Fish dishes, cabbage dishes, and potatoes baked “in the skin” with horseradish were common. Dumplings with hurda (curd filling) were a specialty, sometimes with hemp seeds ground in a mortar and fried with onions. Due to church restrictions, alcohol was rarely consumed at the beginning of the 20th century; instead, lemonade, soda water, and kvass became popular alternatives.
Germans	Thuringian pot roast, pork schnitzel, baked fillet and ham with green beans, hamburger steak, zerlegen, schmorbraten, and muscheln, prepared from beef, poultry, fish, and game. Sour cabbage (saure Kabbe), vegetables—especially cabbage – and boiled potatoes were common. Peas and beans were often used as side dishes. A typical dish was dicke Eintopfsuppe, a thick stew containing meat, sausages, frankfurters, beans, peas, and vegetables. Main dishes were generally prepared from whole cuts of meat, while minced meat was used less frequently. A well-known German dish combined sausages with stewed sauerkraut.

Table 2

Cuisine of ethnic groups in the Right Bank Polissya region of Ukraine: Jews, Czechs, Armenians, Azerbaijanis (Нестерчук, 2023)

Jews	Gefilte fish prepared without skin, with minced fish fillet mixed with eggs, onions, and spices. First courses included chicken broth, cold sorrel borscht, soup made from potatoes and beans, and cold soups prepared from dried fruits. Main dishes included stuffed poultry necks, stuffed fish, homemade noodles (lokshen), dumplings (kneidlach), roasted meat finely chopped and seasoned with vinegar, and tsimmes. Fish such as catfish and eel were eaten. Shellfish, crayfish, and other aquatic animals were prohibited according to dietary restrictions. Red fish roe was consumed, while black caviar was avoided. Common ingredients included honey, turnips, carrots, pears, plums, and apples; pastries with apple filling were popular. Confectionery included semolina and nut cookies, honey cake (medovik), baba ganoush, challah, latkes, babka, baklava, kugel, pastrami, matzah, halva, sufganiyot. Beverages included wine and Malaga wine. Herring in vinegar and the ritual dish charoset were also consumed.
Czechs	Meat products were commonly smoked using smoke from fruit trees. For storage, baskets with lids made of bulrush were used. Typical dishes included knedliky (dumplings), nudlová polévka (homemade noodle soup with potatoes, onions, carrots, pepper, bay leaf, and parsley), and škubánková polévka, which differed mainly in the preparation method by tearing small pieces of dough (škubatky). Other dishes included česnečka (garlic soup), sulc (aspic), jahelka, “false roast,” and jitrnice (homemade sausage similar to head cheese). Confectionery products included jablečný závin (apple strudel), cakes (dort), pastries, and placky. Tea was sometimes replaced by burnt sugar dissolved in water. Brewing and drinking beer has traditionally been a long-standing Czech cultural practice.
Armenians	Lavash bread was baked in a clay oven called a tonir (or tondir). The traditional Armenian family diet emphasized balanced nutrition and included vegetables, fruits, herbs (tarragon, cilantro, basil, mint), cereals, cheeses, fish, and numerous spices. Typical dishes included spelt, kebab, khashlama, harisa, lentil soup with potatoes, beetroot salad, puff-pastry envelopes with cheese and herbs (khachapuri), the pie gata with a “lucky coin,” kutap, and dolma. Popular sweets included pakhlava, gata, and sujukh. Lavash was recognized as part of the Intangible Cultural Heritage of Humanity by UNESCO in 2014. Armenians were also known for their wine-making traditions, mainly producing dry wines.
Azerbaijanis	Pilaf, lamb dishes, meat pastries (qutab), and shashlik were common. The preparation of Azerbaijani shashlik often involved combining meat with fruits rather than vegetables, which distinguished it from other cuisines. A notable feature was the extensive use of spices such as coriander, basil, fennel, and saffron. Meals typically began with various appetizers, pickles, marinades, cheeses, and dolma. Soups such as piti and dovga were also common. Desserts included delicate sherbet, kurabie cookies shaped like flowers or shells, baklava made from very thin pastry layers, dried nuts, special grape syrups, clear fruit preserves, and chorek (sweet bread). Fish dishes were also prepared, including special methods for cooking trout.

Table 3

Cuisine of ethnic groups in the Right Bank Polissya region of Ukraine:
Jews, Czechs, Armenians, Azerbaijanis (Нестерчук, 2023)

Western tatars	Among food ingredients, lamb and beef occupied a leading place. The hallmark of this ethnic group was the well-known pies stuffed with lamb. Pastry products contained large amounts of walnuts and honey. A unique delicacy is “ak'alva,” the recipe of which includes sugar and nuts.
Moldovans	The national cuisine is distinctive and vibrant, characterized by a mosaic of vegetable dishes—fresh, boiled, fried, baked, stewed, and salted. The vegetable range was complemented by corn, beans, chickpeas, eggplants, peppers, tomatoes, white cabbage and cauliflower, pumpkin, leeks, and gogoshar peppers. Traditional foods include corn mămăligă, brynza cheese, kostitsa, menkerika, paprikash, kirmetsei, yahnia, zama, mandzha, moussaka, mititei, tokana, and kostitsa. Pastries include placinda and twisted vertuta, fruit-and-berry “loop” pastries, as well as soufflé, nougat, kalachi, kulichi, sherbet, halva, gogosh, and wines.

Continuation of table 3

Bulgarians	A central place in the Bulgarian diet was occupied by “kurban,” which included bulgur and lamb. Constant ingredients were milk, eggs, brynza cheese, and the pastry “milina,” prepared from mixed brynza and flour and poured with a milk-egg mixture. “Milina” was traditionally eaten with wine. This versatile pastry was also served with tea.
Roma	“Bograch.” Roma culinary recipes are rich in spices, particularly spicy tomatoes, while festive and Sunday meals were characterized by abundant and richly laid tables. Traditional dishes include stuffed cabbage rolls, chicken, and chops. Among bakery products, a special place is occupied by “mariklya,” a bread baked with water, salt, and butter in an oven or mold. Cooking over an open fire remained the main method of preparing food outdoors. Another dish is “loksha,” prepared from potatoes, flour, and butter and sweetened with sugar.
Grec	Meat, dairy, and flour products predominate, including dried and cured meat. “Khaurma” is a very salty sausage prepared for long-term consumption. This ethnic group differs from others in the technology of preparing “kolbyk,” which is a type of dried meat. The composition of first courses included a distinctive ingredient—lamb—such as in “shurpa” and “syurpa.” Various types of dough were also prepared: unleavened, yeast, and puff pastry, used for dishes such as “pita” and “chebureki.” Other foods include various types of homemade noodles, “hashytya” (a type of dumpling), “turta,” “kubete,” “shumush” (a pie filled with pumpkin), and pies served with garlic sauce known as “lukhun.”
Romanins	Food traditions concerning first courses included whitening soups with sour cream only before serving. Gastronomy also involved the processing of vegetables, fruits, eggs, and milk. The main emphasis in recipes was placed on ingredients that slow down the aging process of the human body. Medicinal and aromatic herbs were constantly added to food. Cooking relied on a slow pace and moderate heat, and certain foods were not brought to full readiness. <i>повільний темп та помірний вогонь. Певні харчові продукти не доводили до повної готовності.</i>
Hungarians	Hungarian culinary heritage is distinguished by the generous use of red pepper, tomatoes, chili peppers, and onions of the “Mako” variety. The symbol of Hungarian cuisine is “goulash.” Other well-known dishes include “chicken paprikash” with dumplings and traditional stuffed cabbage rolls. Pork was widely used, later supplemented by chicken and fish. Soups include “halászlé” and pork soups. Main dishes include “tokány,” “goulash,” “paprikash” with sour-cream paprika sauce, and “pörkölt.” Baked goods include savory and plain “kifli,” noodles with cheese, cherry and cheese rolls, “Somlói dumplings,” “vargabéles,” cakes, muffins, and wines.

Vegetable growing, represented by crops of cucumbers, carrots, table beets, and cabbage; fruit growing with apple and pear trees, which bear fruit well in the Polissya climate.

The connection with the gastronomic landscape is implemented in the combination of agricultural crops that form the traditional diet of Polissya residents: dishes made from potatoes, grain porridge, open-ground vegetables, and garden fruits, supplemented with forest berries and mushrooms, which enhances the uniqueness of the gastronomic image of the Right Bank Polissya region of Ukraine.

Conclusions

Thus, the Right Bank Polissya region of Ukraine is a model of a multi-ethnic gastronomic landscape dominated by the Polissya-Lithuanian axis and hybrid zones (Jewish-Czech-Polish influences). The landscape

determinant of the gastronomic practices of ethnic groups is manifested in microclimatic adaptation (pickling, drying) and resource base (natural resource potential of the physical-geographical zone of mixed (coniferous-broadleaf) forests).

The intersection between the gastronomic landscape and the cuisines of ethnic groups forms a unique gastronomic brand for the region, suitable for the preservation of biodiversity and tourism on a constructive-geographical basis, which requires physical-geographical (landscapes, climate, biodiversity), soil science (soil types, fertility), and ethnographic (interviews, observation of practices) research on the food practices of the ethnic groups of the Right Bank Polissya for the scientific justification of the gastronomic heritage, its correlation with the natural environment, and the cuisines of ethnic groups.

Bibliography

- Hoffman J. Przewodnik po Wołyniu. Warszawa : Nasza Drukarna. 1938. 67 s.
- Kolberg O. Dziela wszystkie. Warszawa : Polskie Towarzystwo Ludoznawcze , 1968. T. 52. 571s.
- Kraszewski J. Wspomnienia Polesia, Woynia I Litwy. Wilno : T. Glucksberga, 1840. 199 s.
- Nesterchuk I. K. The concept of territorial gastro-tourism systems. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 7. Р. 63–74. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.7>
- Stecki T. Miasto Rywne : Kartka z Kroniki Woynia. Warszawa: Wladyslawa Debcskiego. 1880. 76 s.
- Бондаренко Г. Етнографія Західної Волині та Полісся (історіографічний огляд за 1991–2006 рр.). *Минуле і сучасне Волині та Полісся: роде наш красний*. Луцьк, 2009. Вип. 24. С. 4–11.
- Де ля Фліз Д. П. Етнографічні описи селян Київської губернії. Київ : «Поліграфкнига», 1854. 154 с.
- Макарчук С. А. Історико-етнографічні райони України : навч. Посіб. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2012. 352 с.
- Нестерчук І. К. Гастрономічний туризм Правобережного Полісся України: теорія, методологія і практика досліджень : монографія. Житомир : ЖДУ ім. І. Франка, 2023. 548 с.
- Нестерчук І. К. Специфіка етнічних кухень Правобережного Полісся України: історико-географічні розвідки. *Географія та туризм*. 2022а. Вип. 69. С. 26–38. <https://doi.org/10.17721/2308-135X>.
- Нестерчук, І. К. Методи та інструменти оцінки потенціалу гастрономічного туризму. *Географія та туризм*. 2022б. Вип. 66. С. 18–28. <https://doi.org/10.17721/2308-135X>
- Нестерчук, І. К. Формування сучасного поняттєво-термінологічного апарату гастрономічного туризму. *Географія та туризм*. 2022с. Вип. 65. С. 9–20. <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2021.65>.
- Нестерчук І. К., Іванов Є. А. Підходи та принципи досліджень гастрономічного ландшафту: оптимізація, управління, картографування. *Географія та туризм*. 2025. № 81. С. 14–22. <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2025.81.14-22>.
- Повість врем'яних літ : літопис (За Іпатіївським списком) / пер. з давньоруської, післяслово, комент. В. В. Яременка. Київ : Рад. Письменник, 1990. 558 с.
- Радович Р. Техніка та технологія традиційного житлово-господарського будівництва на Поліссі другої половини ХІХ – першої половини ХХ ст. *Полісся України* : матеріали історико-етнографічного дослідж. Львів, 1994. Вип. 1: Київське Полісся. С. 62–82.
- Сегеда С. П. Антропологічні особливості людності Українського Полісся. *Древляни* : зб. Статей і матеріалів з історії та культури Поліського краю. Львів : Ін-т народознавства НАН України, 1968. Вип. 1. С. 83–96.
- Скржинська М. В. Геродот та його історії про Скіфію. Енциклопедія історії України. В 10 т. Т. 2. Г–Д. / за ред. В. А. Смолій та ін. Київ : Наук. Думка, 2004. 680 с. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.history.org.ua/?termin=Gerodot> (дата звернення: 20.02.2026).
- Чубинський П. Мудрість віків: Українське народознавство у творчій спадщині Павла Чубинського : у 2 кн. Київ : Мистецтво, 1995. Кн. 1. 222 с. Кн. 2. 223 с.

References

- Hoffman, J. (1938). Guide to Volhynia [Guide to Volhynia]. Warszawa : Nasza Drukarna [in Polish].
- Kolberg, O. (1968). Dziela wszystkie [It shares everything]. Warszawa : Polskie Towarzystwo Ludoznawcze [in Polish].
- Kraszewski, J. (1840). Wspomnienia Polesia, Woynia I Litwy [Memories of Polesie, Volhynia and Lithuania]. Wilno : T. Glucksberga [in Polish].
- Nesterchuk, I. K. (2024). The concept of territorial gastro-tourism systems. *Ukrayins'kyi zhurnal pryrodnych nauk* [Ukrainian Journal of Natural Sciences], <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.7>. [in English].
- Stecki, T. (1880). Miasto Ruwne : Kartka z Kroniki Woynia [The city of Rivne: A page from the Volhynia Chronicle]. Warszawa: Wladyslawa Debcskiego [in Polish].
- Bondarenko, H. (2009). Etnohrafiia Zakhidnoi Volyni ta Polissia (istoriografichniy ohliad za 1991–2006 rr.) [Ethnography of Western Volyn and Polissya (historiographic review for 1991–2006)]. *Mynule i suchasne Volyni ta Polissia: rode nash krasnyi* [The past and present of Volhynia and Polissya: our beautiful people], 24, 4–11 [in Ukrainian].
- De lia Fliz, D. P. (1854). Etnohrafichni opysy selian Kyivskoi hubernii [Ethnographic descriptions of peasants of the Kyiv province]. Kyiv : «Polygraf Book» [in Ukrainian].

Makarchuk, S. A. (2012). Istoryko-etnografichni raiony Ukrainy [Historical and ethnographic regions of Ukraine]. Lviv: I. Franko LNU [in Ukrainian].

Nesterchuk, I. K. (2023). Hastronomichniy turyzm Pravoberezhnoho Polissia Ukrainy: teoriia, metodolohiia i praktyka doslidzhen [Gastronomic tourism of the Right-bank Polissia of Ukraine: theory, methodology and practice of research]. Zhytomyr : I. Franko ZhSU. [in Ukrainian].

Nesterchuk, I. K. (2022, a). Spetsyfika etnichnykh kukhen Pravoberezhnoho Polissia Ukrainy: istoryko-heohrafichni rozvidky. [Specifics of ethnic cuisines of the Right Bank Polissya region of Ukraine: historical and geographical research] *Heohrafiia ta turyzm*. [Geography and tourism], 69, 26–38. <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2022.69.26-38> [in Ukrainian].

Nesterchuk, I. K. (2022, b). Metody ta instrumenty otsinky potentsialu hastronomichnoho turyzmu [Methods and tools for assessing the potential of gastronomic tourism] *Heohrafiia ta turyzm*. [Geography and tourism], 66, 18–28. <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2021.66.18-28> [in Ukrainian].

Nesterchuk, I. K. (2022, c). Formuvannia suchasnoho poniattievo–terminolohichnoho aparatu hastronomichnoho turyzmu [Formulation of a modern conceptual and terminological framework for gastronomic tourism] *Heohrafiia ta turyzm*. [Geography and tourism], 65, 9–20. <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2021.65.9-19>. [in Ukrainian].

Nesterchuk, I. K., & Ivanov, Ye. A. (2025). Pidkhody ta pryntsypy doslidzhen hastronomichnoho landshtafu: optymizatsiia, upravlinnia, kartohrafuvannia. [Approaches and principles of gastronomic landscape research: optimization, management, cartography]. *Heohrafiia ta turyzm* [Geography and tourism], 81, 14–22. <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2025.81.14-22>. [in Ukrainian].

Povist vremianykh lit [The Tale of Bygone Years] (1990): litopys (Za Ipatiivskym spyskom) / per. z davnoruskoi, pisliaslovo, koment. V. V. Yaremenka. Kyiv : Rad. Pysmennyk [in Ukrainian].

Radovych, R. (1994). Tekhnika ta tekhnolohiia tradytsiinoho zhytlovo-hospodarskoho budivnytstva na Polissi druhoi polovyny KhIKh – pershoi polovyny KhKh st. [Techniques and technologies of traditional residential and farm building construction in Polissya in the second half of the XIX th century – first half of the XX th centur] Polissia Ukrainy : materialy istoryko-etnografichnoho doslidzh. Lviv: Kyivske Polissia [in Ukrainian].

Seheda, S. P. (1968). Antropolohichni osoblyvosti lyudnosti Ukrayins'koho Polissya. Drevlyany : zb. Statey i materialiv z istoriyi ta kul'tury Polis'koho krayu. [Anthropological features of the population of Ukrainian Polissya. Drevlyans: collection of articles and materials on the history and culture of the Polissya region]. L'viv : In-t narodoznavstva NAN Ukrayiny, 1, 83–96. [in Ukrainian].

Skrzhynska, M. V. (2004). Herodot ta yoho istorii pro Skifiu. Entsyklopediia istorii Ukrainy [Herodotus and his history of the Scythians. Encyclopedia of Ukrainian History]. 10(2). / ed. V. A. Smolii, Kyiv : Nauk. dumka. [Electronic resource]. URL: <http://www.history.org.ua/?termin=Gerodot> (access date 20.02.2026) [in Ukrainian].

Chubynskyi, P. (1995). Mudrist vikiv: Ukrainske narodoznavstvo u tvorchii spadshchyni Pavla Chubynskoho [The wise man said: Ukrainian ethnography in the creation of the legacy of Pavlo Chubynsky]. Kyiv : Mystetstvo [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 16.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 14.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



УДК 911.2:303.446:551.438.5(282.2"712.4")-024.67(292.452:477)(045)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.8>

РУСЛОВИЙ ПРОЦЕС РІЧКИ ЧЕРЕМОШ В МЕЖАХ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ У ПРИРОДНИХ УМОВАХ

М. І. Вудвуд¹

У статті представлено результати комплексного дослідження природного руслового процесу річки Черемош у межах гірської частини Українських Карпат. Актуальність роботи зумовлена недостатньою вивченістю руслових процесів цієї річки, а також необхідністю узагальнення закономірностей функціонування гірських річкових систем. Метою дослідження є виявлення параметрів системи потік–русло Черемошу, характерних для її активного стану та встановлення основних закономірностей природного руслового процесу.

Методичною основою роботи є гідроморфологічний аналіз, що передбачає простеження змін структури і функціонування системи потік–русло у просторі з урахуванням морфологічних особливостей долини, гідрологічних характеристик та впливу паводків. У дослідженні використано картографічні матеріали різних періодів, дані дистанційного зондування Землі, результати польових експедиційних спостережень, а також матеріали гідрологічних досліджень, зокрема щодо проходження катастрофічного паводку 2008 року.

Також у результаті дослідження встановлено, що найбільш характерними проявами руслового процесу Черемошу є розгалуження русла з формуванням проток та островів-осередків, а також вимушені звивини, приурочені до звужених ділянок долини. Виявлено, що ці форми чергуються вздовж течії річки, утворюючи закономірну просторову структуру, зумовлену геоморфологічними та тектонічними чинниками. Проаналізовано параметри потоку під час паводкових ситуацій, зокрема швидкість течії, глибину, витрати води та амплітуду рівнів, що дозволило оцінити інтенсивність руслових процесів.

Розрахунок безрозмірних гідравлічних показників (чисел Фруда та Глушкова, а також показника рухомості наносів) засвідчив переважання надкритичного режиму течії та високу динамічність руслоформуючих процесів. Встановлено, що русло річки у гірській частині належить до структурно-алювіального типу, класу скельних структурно-алювіальних русел. Показано, що формування основних руслових форм відбувається переважно під час спаду або у періоди проходження менших паводків.

Отримані результати розширюють уявлення про закономірності руслових процесів гірських річок Українських Карпат і можуть бути використані у подальших гідроморфологічних дослідженнях, а також при вирішенні прикладних завдань раціонального природокористування та управління річковими системами.

Ключові слова: гідроморфологічний аналіз, система потік–русло та її параметри, структурно-алювіальне русло, ландшафти річок, регіональні особливості руслового процесу, геопросторові об'єкти на різних рівнях.

¹ аспірантка кафедри географії України та регіоналістики
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: m.vudvud@chnu.edu.ua
ORCID: 0009-0002-4436-831X

CHANNEL PROCESSES OF THE CHEREMOSH RIVER WITHIN THE UKRAINIAN CARPATHIANS UNDER NATURAL CONDITIONS

M. I. Vudvud

This article presents the results of a comprehensive study of natural channel processes of the Cheremosh River within the mountainous part of the Ukrainian Carpathians. The relevance of the study stems from the insufficient understanding of channel processes in this river, as well as the need to generalize patterns governing the functioning of mountain river systems. The aim of the research is to identify the key parameters of the flow-channel system of the Cheremosh River under its active state and to establish the main regularities of its natural channel processes.

The methodological framework is based on hydromorphological analysis, which involves tracing spatial changes in the structure and functioning of the flow-channel system, taking into account valley morphology, hydrological characteristics, and flood impacts. The study is based on cartographic materials from different periods, remote sensing data, field observations, and hydrological records, including data related to the catastrophic flood of 2008.

The results indicate that the most characteristic features of the Cheremosh River channel processes are channel branching with the formation of anabranches and mid-channel bars, as well as forced meanders associated with valley constrictions. These forms alternate along the river course, forming a regular spatial pattern controlled by geomorphological and tectonic factors. Flow parameters during flood events, including velocity, depth, discharge, and water level amplitude, were analyzed to assess the intensity of channel processes.

The calculation of dimensionless hydraulic indices (Froude and Glushkov numbers, and the sediment mobility parameter) indicates the predominance of supercritical flow conditions and a high degree of channel dynamics. The river channel in the mountainous section is classified as a structural-alluvial type, specifically as a bedrock-controlled structural-alluvial channel. It is shown that the formation of major channel features occurs mainly during the falling stage of floods or during smaller flood events.

The findings contribute to a better understanding of channel processes in mountain rivers of the Ukrainian Carpathians and can be applied in further hydromorphological research, as well as in addressing practical issues of sustainable river management and environmental management.

Key words: *hydromorphological analysis, flow-channel system and its parameters, structural-alluvial channel, river landscapes, regional features of channel processes, geospatial objects at different scales.*

Вступ

Гідроморфологічні дослідження русел і заплав річок Українських Карпат отримали значний розвиток за останні десятиліття. Вони охоплюють велике коло питань: розвиток руслових форм, характеристики та стік наносів, ГІС-моделювання, палеогеографічні аспекти, інформаційна база управління річками, молодий річковий ландшафт та багато інших. На нашу думку, важливо виконувати, зокрема, узагальнену характеристику руслового процесу на характерних великих ділянках річок. При цьому можна прослідковувати його закономірні послідовні зміни вздовж течії річки. Така методика застосовується у дослідженнях руслового процесу ще від середини 20-го століття. Стосовно річок Українських Карпат вона була застосована Ю.С. Ющенком (2005), О.Г. Ободовським зі співавторами (Ободовський та ін., 2010; Ободовський та ін., 2012) та іншими вченими. Близьким до цього є відомий сучасний підхід River Continuum Concept (RCC),

який розглядає річку як цілісну систему, що певним чином змінюється, еволюціонує вздовж течії (Doretto et al., 2020; Hassan et al., 2024). Об'єктом нашого дослідження обрано ділянку гірської течії р. Черемош. Стосовно неї ще не виконувалось комплексне руслознавче дослідження. Водночас русловий процес на ній є досить характерним для крупних річок Українських Карпат. Тому такого роду дослідження є актуальним.

Русловий процес р. Черемош у гірській частині течії детально ще не досліджений. Перші відомості загального характеру, а також результати гідроморфологічного аналізу процесу на перехідній ділянці від гір до передгір'їв наведено у праці Ю.С. Юценка (2005).

На основі аналізу картографічного матеріалу, схем геоморфологічної та фізико-географічної регіоналізації у праці Л.В. Костенюк (2012) в межах гірської ділянки долини Черемошу було виділено однорідні ділянки днища долини (ОДд) та однорідні ділянки

русла та заплави річки (ОДРЗ). Картосхема ОДд наведена на рис. 1.

Нумерація і назви ділянок у таблиці 1.

Зведені дані про однорідні ділянки днища долини Черемошу наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Відомості про однорідні ділянки днища долини р. Черемош (гірська течія)

№	Назва ОДд	Довжина, км	Характерні ширини днища долини, м
1.	Черемошська (Устерікська)	8,0	250-400
2.	Усть-Путильська	1,7	400-600
3.	Кичерська	0,66	250-270
4.	Мариничська	2,4	300-700
5.	Петрашівська	1,0	100-130
6.	Білоберезківська	1,7	700-1000
7.	Товарницька	1,4	100-170
8.	Розтоцька	9,4	800-1200
9.	Підзахаричська	3,7	220-320
10.	Тюдівсько-Вижницька*	6,25	200-1600

У роботі А.В. Костенюк не наведено розгорнутої інформації про однорідні ділянки долини (ОДд) Черемошу (гірська течія) (рис. 1), оскільки води у розумінні своєї послідов-

ності співпадають, на думку автора, з ОДд. Водночас питання про співпадіння послідовності ОДд та ОДд у гірських умовах не є однозначно вирішеним. На нашу думку, долина Черемошу в межах Українських Карпат являє собою відносно однорідну макроділянку. Це серія характерних звивин долини, що складаються з певних груп ОДд. В середині цих груп центральна ділянка є відносно звуженою, що пов'язано з перетином гірських хребтів. Разом із тим спостерігається різниця між звивинами долини та групами ОДд в межах району середньогірного рельєфу та району низькогірного рельєфу підобласті скибових Покутсько-Буковинських Карпат. Їх межа у долині Черемошу орієнтовно співпадає з гирлом р. Товарниця. В межах району низькогірного рельєфу спостерігається група більш крупних ОДд зі специфічною конфігурацією. Також це вплинуло на особливості переходу долини від району до району.

Дослідження руслового процесу на ділянках гідрологічних спостережень, а також чинника максимальних витрат води виконано М.Г. Настюком, Ю.С. Ющенком та співавторами (Yushchenko et. al., 2013; Настюк, 2014). Для нашого дослідження важливою є інформація стосовно ділянки річки у с. Устеріки та інформація про



Рис. 1. Картосхема однорідних ділянок днища долини р. Черемош (гірська течія) (Костенюк, 2012)

видатний паводок 2008 року. Стосовно останнього було показано, що для Черемошу та основних його допливів модулі максимального стоку дорівнювали, або перевищували $1000 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$. Наприклад: для створу в Устеріках при площі водозбору $F_b = 1500 \text{ км}^2$ $Q_{\max} = 1500 \text{ м}^3/\text{с}$. Для створу р. Путила – смт. Путила $F_b = 219 \text{ км}^2$, $Q_{\max} = 241 \text{ м}^3/\text{с}$. Основні дані про басейни допливів Черемошу наведено у публікації «Водний фонд Чернівецької області» (Костишин та ін., 2006). На основі даної інформації можемо дати важливі для гідроморфологічного аналізу оцінки максимальних витрат вздовж течії Черемошу: у с. Барвинків (нижче гирла р. Путила) понад $1800 \text{ м}^3/\text{с}$, вище гирла р. Товарниця $1950 \text{ м}^3/\text{с}$, у с. Розтоки $2000 \text{ м}^3/\text{с}$, у с. Тюдів $1900 \text{ м}^3/\text{с}$, біля м. Вишніця $2200 \text{ м}^3/\text{с}$.

Загальні питання характеристики гірських річок розглянуто також у праці (Yushchenko et al., 2026).

Мета: на основі комплексного гідроморфологічного аналізу виявити параметри системи потік-русло Черемошу характерні для її активного стану та закономірності природного руслового процесу.

Матеріал і методи

Загальним методичним підходом є прослідковування еволюції функціонування системи потік-русло річки Черемош вздовж її течії в межах Українських Карпат. «Прослідковування» означає виявлення основних закономірних реакцій системи на зміну місцевих умов руслоформування із врахуванням загальних, басейнових чинників, перш за все, стоку води. Такий підхід також можна трактувати як спосіб застосування методики гідроморфологічного аналізу руслового процесу (Ободовський, 2017; Ющенко та ін., 2025). Важливо також звертати увагу саме на природну основу руслового процесу, який в антропогенних умовах може бути зміненим. Для цього нами проаналізовано стан планових форм, відображений на картах орієнтовно до середини 20-го століття. Водночас функціонування системи потік-русло під час проходження історичних паводків дає релевантну інформацію щодо активного руслового процесу.

Гідроморфологічний аналіз можна застосовувати на різних ієрархічних рівнях. Вищий рівень – це прослідковування головних змін форми русла та заплави на фоні всієї ділянки долини річки та її днища вздовж течії. При цьому спостерігаємо також зміни певних однорідних ділянок. На

другому рівні можна розглядати характерні форми русла в межах однорідних ділянок. Також можна розглядати, аналізувати переходи між ними (їх з'єднання). На третьому рівні розглядаються певні локальні особливості руслового процесу, будови русла та заплави, другорядні руслові форми тощо.

Сучасний гідроморфологічний аналіз включає як методичні аспекти, так і застосування сучасних дослідницьких технологій у поєднанні з класичними. Зокрема, нами використано дані карт за попередні періоди у поєднанні з сучасними даними ДЗЗ; дані експедиційних досліджень виконаних після паводку 2008 року у поєднанні з даними досліджень 2025 року з використанням технології GNSS. Також це стосується аналізу поперечних перерізів до міток рівнів високх вод (РВВ) разом з даними про абсолютні висоти характерних точок русла, заплави та терас. Конкретні способи аналізу базової інформації описані при викладенні результатів дослідження.

Результати та їх обговорення

Застосування методів гідроморфологічного та ландшафтно-гідроморфологічного аналізу структури і функціонування системи потік-русло та потік-русло-заплава р. Черемош у гірській частині течії дозволило виявити важливі прояви і закономірності руслового процесу, параметри СПР та СПРЗ. Найбільш характерними проявами є розгалуження та звивини.

Розгалуження характеризуються наявністю переважно двох проток навколо островів типу осередків або навколо крупних островів. Спочатку розглянемо характерні приклади. На рис. 2, 3 та 4 показано графік поперечного перерізу р. Черемош біля гирла р. Товарниця та планові форми русла на космічному знімку та на карті 1863 року.

Станом на теперішній час (за даними експедиційного дослідження восени 2025 року) зберігається характерна конфігурація русла: ліва протока – основна, права – менш активна, «другорядна». Загальний невеликий вигин русла спрямований у бік лівого берега. Основна протока розташована нижче другорядної. Також можна зазначити, що острів-осередок і частково береги правої протоки поросли чагарниками та молодими деревами.

Гідроморфологічний аналіз дозволяє оцінити співвідношення в активності проток під час проходження паводку 2008 року. В основу оцінки покладено орієнтовне співвідношення

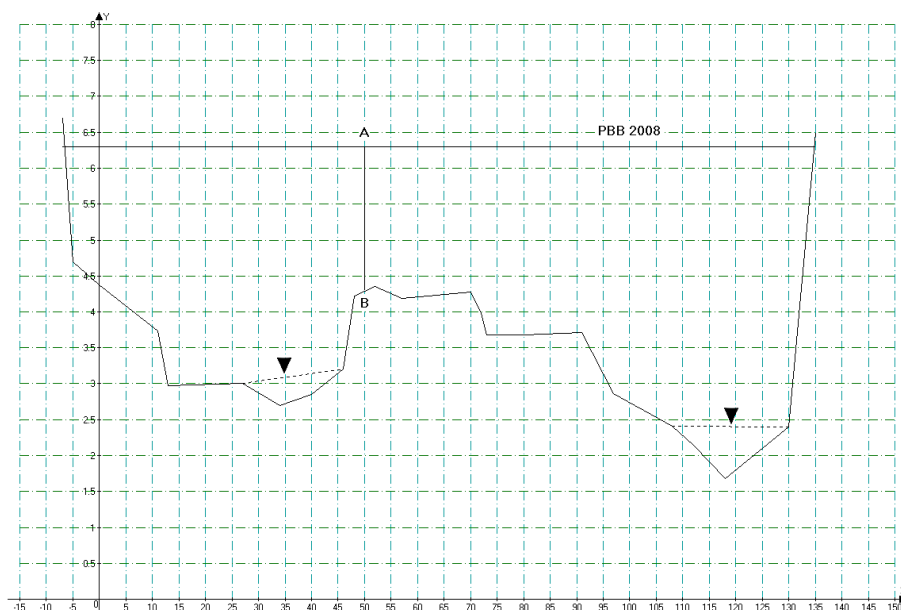


Рис. 2. Графік поперечного перерізу річки Черемош біля гирла р. Товарниці (AB – орієнтовна межа, що ділить паводковий потік на відносно активну та пасивну частини)



Рис. 3. Фрагмент космоснімку з відображенням русла р. Черемош біля гирла р. Товарниці станом на 2019 р. (— положення створу поперечного перерізу)

характерних (середніх) швидкостей течії у різних частинах паводкового потоку. Воно залежить від добутку $C \cdot \sqrt{hI}$ (C – коефіцієнт Шезі, h – середня глибина, I – місцевий поздовжній похил потоку). Можна припустити однаковість I та n (коефіцієнту шорсткості) для двох частин потоку (які після спаду паводку стають протоками). Тоді співвідношення швид-

костей (V_1 та V_2 залежатиме від $C_1 \sqrt{h_1} / C_2 \sqrt{h_2}$. Глибини беремо з графіка поперечного перерізу як $\omega_1 B_1 / \omega_2 B_2$ (де ω – площа перерізу; B – ширина). Співвідношення C_1 / C_2 можна оцінити (при $n = \text{const}$) за допомогою формули Г.В. Желєзнякова та таблиця коефіцієнтів шорсткості Й. Ф. Карасьова (Ющенко, 2023). Розрахунки показали, що різниця між

швидкостями течії в активній та другорядній протоках (V_1 та V_2) невелика. У створі біля гирла р. Товарниця $V_1 = 4,74$ м/с, $V_2 = 4,6$ м/с. У створі біля с. Тюдів $V_1 = 5,86$ м/с, $V_2 = 5,53$ м/с. Водночас різниця у витратах води значна. У першому випадку $Q_1 = 1210$ м³/с, $Q_2 = 740$ м³/с. У другому: $Q_1 = 1265$ м³/с, $Q_2 = 835$ м³/с.

Аналогічну процедуру гідроморфологічного аналізу застосовано до ділянки русла

р. Черемош нижче порожистого звуження біля с. Тюдів, де у межах спостерігається витягнутий острів-осередок. Графік поперечного перерізу річки наведено на рис. 5. Планові форми русла наведено на рис. 6 та 7.

Слід також відмітити, що в описаних умовах активну амплітуду рівнів води ($A_{на}$) доцільно відносити саме до умов активної основної протоки. У створі вище гирла р. Товарниця $A_{на} = 3,9$ м, а біля осередка в районі с. Тюдів $A_{на} = 3,8$ м.



Рис. 4. Відображення русла р. Черемош біля гирла р. Товарниця на карті 1863 р.

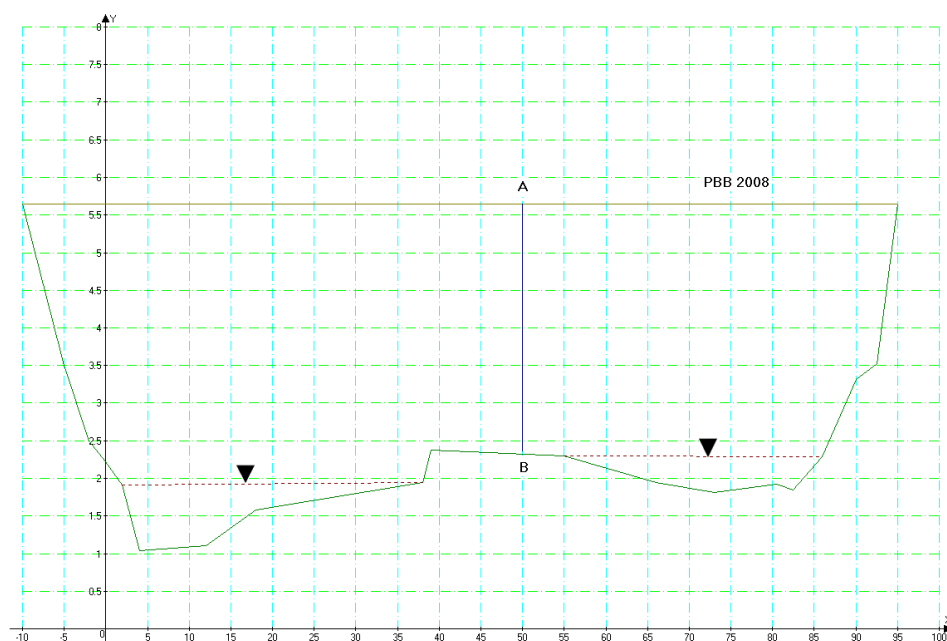


Рис. 5. Графік поперечного перерізу річки Черемош біля с. Тюдів (AB – орієнтовна межа, що ділить паводковий потік на відносно активну та пасивну частини)

Інші умови розгалуження Черемошу спостерігаються на ділянці у с. Устеріки. Тут розташовані крупні острови, імовірно тектонічно та структурно обумовлені. Вище них спостерігається своєрідна точка біфуркації. Поточна руслова ситуація на цій локальній ділянці визначає умови функціонування другорядної правобічної протоки (рис. 8).

Інформацію про дану особливість руслового процесу наведено у праці Л.В. Костенюк (2012). У ній звернуто увагу на імовірну періодичну активізацію правобічної протоки. У період до паводку 2008 року її верхня частина була перекрита поперечною дамбою. Однак на підйомі паводку ця дамба

була зруйнована річкою. Також зауважено, що активізація подібних проток, характерних для річок Українських Карпат, залежить від особливостей руслового процесу на вище розташованій ділянці річки.

Другим характерним проявом руслового процесу р. Черемош у гірській частині течії є звивини, які своїми вершинами притиснуті до корінних берегів долини, або невеличких смуг терас. Вони є, у свою чергу, вершинами мегазвивин долини Черемошу, про що вже було наведено інформацію в огляді. Фактично це вимушені звивини, що супроводжуються значним бічним стисканням СПР та концентрацією паводкового потоку. Дані



Рис. 6. Фрагмент космознімку з відображенням русла р. Черемош біля с. Тюдів станом на 2019 р. (— положення створу поперечного перерізу)

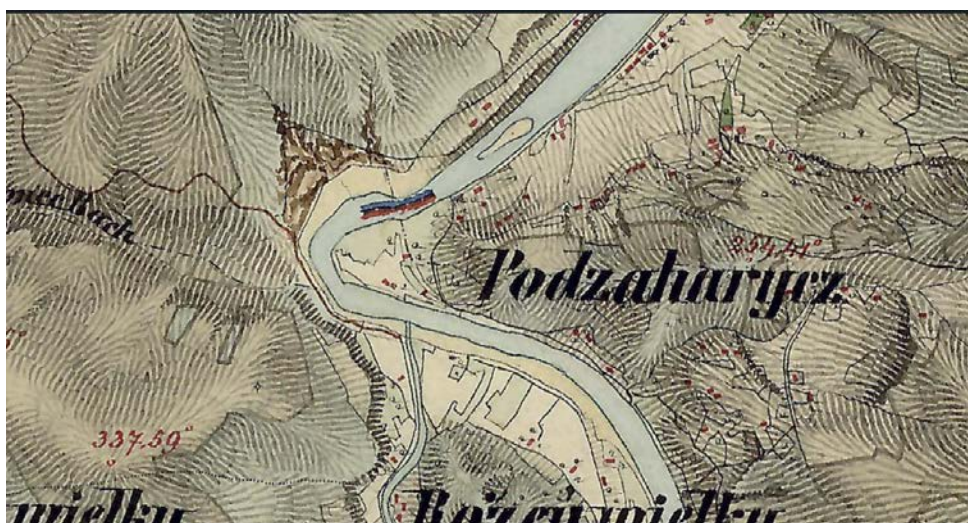


Рис. 7. Відображення русла р. Черемош біля с. Тюдів на карті 1863 року

графіків поперечних перерізів у сукупності з даними оцінки максимальних витрат води під час паводку 2008 року дали можливість оцінити основні параметри СПР (табл. 2).

Загальне зростання показників вниз за течією річки, на нашу думку, пов'язане зі зростанням витрат води. Особливим є вплив порогів біля с. Тюдів, які виникли при перетині смуги щільних пісковиків.

Також відмітимо значну стабільність показників ω , B та h , що вказує на самоорганізацію річкового струменя.

Закономірності руслового процесу розкриваються не тільки через аналіз його проявів на характерних ділянках, а через аналіз переходів від одних ділянок до інших. Нами розглянуто відповідні приклади. На ділянці сполучення розгалуженого русла біля гирла р. Товарниця з розташованою безпосередньо нижче за течією правобічною звивиною і далі виявлено значну зміну поздовжніх похилів меженного потоку (рис. 9).

Таке падіння виглядає як уступ. На нашу думку, це може бути проявом адаптації СПР

до тектонічної межі середньогірного та низькогірного рельєфу Покутсько-Буковинських Карпат (Кравчук, 2005). Водночас тут проявляється певна саморегуляція системи при переході від межені до паводку. Активна амплітуда рівнів води ($A_{\text{на}}$) у верхніх створах під час проходження паводку 2008 року становила 3,9 та 4,0 м, а у нижньому (центральна, стиснута частина звивини) 4,6 м. У нижній частині звивини орієнтовно $A_{\text{на}} = 4,4$ м і у районі нижньої частини корінного острова знову 4 м. На рис. 10 відображено поздовжній профіль поверхні паводкового потоку.

Очевидно, що профіль значно згладжений порівняно з меженням. У звивині (звуженні) утворився своєрідний динамічний підпір не дивлячись на великі швидкості течії.

Зворотний характер сполучення спостерігається на ділянці переходу від звуження та порогів у лівобічній вимушеній звивині до нижче розташованого розгалуження біля с. Тюдів. Збільшені поздовжні похили потоку тут спостерігаються у меженний



Рис. 8. Відображення розгалуженого русла у с. Розтоки (у лівій частині ділянки видно початок розгалужень)

Таблиця 2
Основні характеристики СПР Черемошу на ділянках звужень у звивинах

№	Ділянка	ω , м ²	B , м	h_c , м	$A_{\text{на}}$, м	V_c , м/с
1.	Нижче гирла р. Путила (с. Барвинків)	283	88	3,22	4,2	6,36
*	Основне русло	258	65	3,97		
2.	Нижче гирла р. Товарниця (с. Розтоки)	285	65	4,38	4,6	7,0
3.	Порожиста ділянка вище (с. Тюдів)	262	70	3,74	4,8	8,0

період (орієнтовно 10 ‰). Але під час проходження паводку 2008 р. $A_{\text{на}}$ у верхньому створі становила 4,8 м, а у нижньому (на відстані 500 м від верхнього) 3,8 м. Отже, додатковий похил склав + 2 ‰. Це явище пов'язане як зі значним розширенням

русла, так і зі збереженням великих швидкостей течії.

Порівнюючи два проаналізовані вище переходи звертає на себе увагу значно менша середня глибина потоку і більша середня швидкість на ділянці порогів,

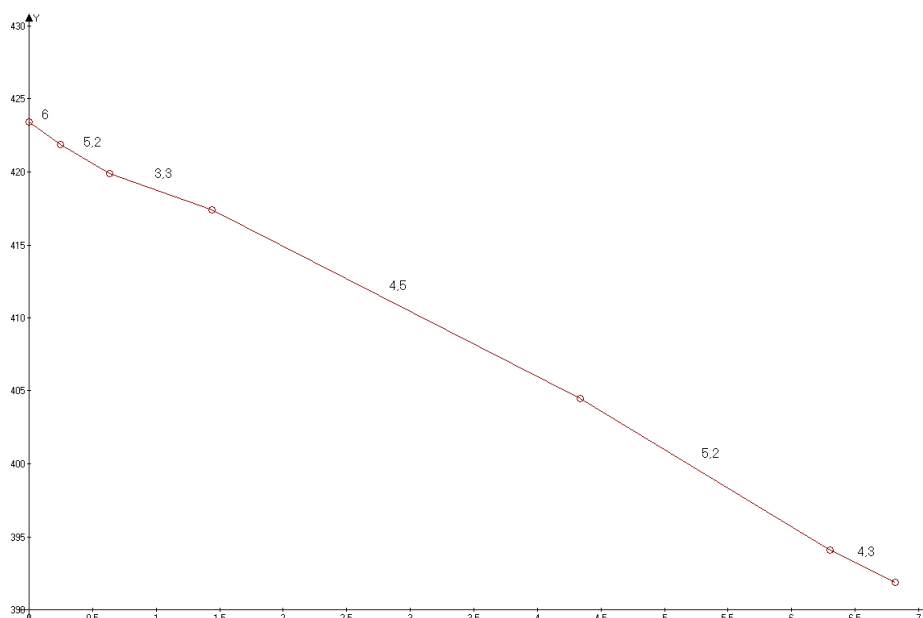


Рис. 9. Графік поздовжнього профілю р. Черемош біля с. Розтоки за даними про відмітки межених урізів води в основному руслі (цифрами біля графіка позначено поздовжні похили у промілі)

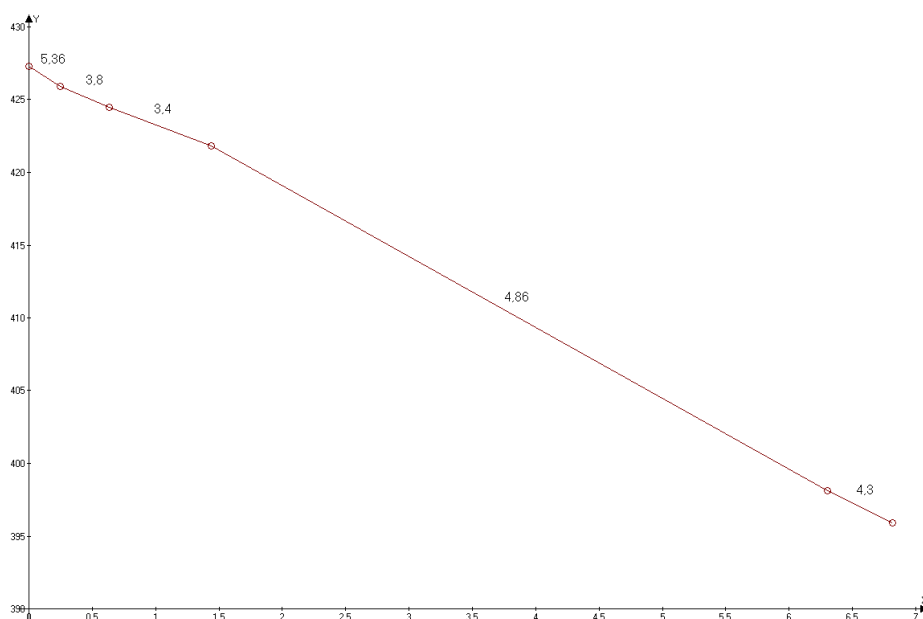


Рис. 10. Графік поздовжнього профілю р. Черемош біля с. Розтоки за даними про відмітки урізів паводкового потоку 2008 р. (цифрами біля графіка позначено поздовжні похили у промілі)

ніж у вимушеній звивині біля с. Розтоки. Вочевидь це дія значно більших місцевих поздовжніх похилів.

Як бачимо, детальні дослідження поздовжніх профілів та похилів гірської річки дають важливу інформацію про функціонування СПР. При цьому слід розрізняти загальні, часткові та локальні (місцеві) похили. Перші з них відносяться до довгих ділянок і відображають загальні геоморфологічні, гідроморфологічні умови. Також вони є дещо формальними, формально осередненими. Другі – це похили на характерних однорідних ділянках. Треті – на локальних формах русла. Вони проявляються переважно у меженях. Також до них відносяться поперечні та косі похили, які можуть бути значно більшими за поздовжні, тому що формуються на коротких відстанях.

На основі отриманих даних про основні характеристики СПР Черемошу можна розрахувати такі її параметри як число Глушкова (Γ), число Фруда (Fr) та рухомість наносів (V/V_0) (табл. 3). Дані про нерозмиваючу швидкість V_0 можна отримати на основі результатів досліджень науковців Киргизького науково-дослідного інституту водного господарства, опублікованих у 1972 році. Ця величина є функцією глибини потоку та крупності домінуючої фракції руслоформуєчих наносів. Практично на всіх ділянках гірської течії Черемошу це середній та крупний валун (осереднено приблизно 200 мм).

Дані таблиці вказують на велику інтенсивність руслового процесу під час проходження історичних паводків. Надкритичний режим (бурхлива течія) означає те, що грядові руслові форми утворюються переважно на спаді паводку. Також вони можуть бути пов'язані з меншими паводками, що формуються у наступні роки. Числа Глушкова досить чітко відобразили концентрацію потоку у звивинах (менше ніж 2,75, що вважається оптимумом прямолінійного русла

(Ющенко, 2005)). У відносних розширеннях з осередками числа Глушкова становлять 2,94–3,75, що не означає втрату цілісності паводкового потоку.

Кроки вимушених звивин становлять переважно 1,5–2 км. Окремі звивини більш різко виражені і мають кроки 0,7–1,1 км, а інші навпаки досить крупні з кроком до 3 км. Зокрема, виділяються дві мегазвивини біля сіл Розтоки та Хорови. Вони відображають умови низькогір'я. (В районі сіл Підзахаричі та Межиброди спостерігаються звивини зі значно меншим кроком. А на ділянці с. Тюдів та м. Вижиця сформовані відносно прямолінійні ділянки днища долини).

Кроки внутрірусових форм переважно становлять 150–300 м, у деяких до 500–600 м. Також важливо відмітити, що досить часто це комплексні форми, тобто такі, які складаються з груп вторинних форм на фоні первинних. Більшість форм є досить витягнутими, що означає велику інтенсивність руслового процесу. Звивини на основі внутрірусових форм слабо виражені.

В ході експедиційних досліджень було виявлено, що в руслі періодично проявляються локальні виходи корінних скельних порід. Їх можна навіть побачити на космознімках.

На окремих ділянках спостерігаються також крупні брили. Враховуючи наявність вимушених звивин, вершини яких торкаються корінних берегів, можна дійти висновку про те, що більшість ділянок русла Черемошу у горах слід віднести до групи структурно-алювіальних, класу скельних структурно-алювіальних (Ющенко, 2005).

При цьому спостерігаються закономірні послідовності ділянок розвитку відносно розширеного русла з островами-осередками та боковиками на фоні меженного потоку та ділянок вимушених звивин з цілісним концентрованим потоком. Це групи ділянок,

Таблиця 3

Параметри СПР Черемошу під час паводку 2008 року

№		$\Gamma, \text{м}^{-0,5}$	Fr	V/V_0
1.	Устеріки. Відносно прямолінійне русло	3,16	1,29	1,56
2.	Звивина біля с. Барвинків (без сектору заплави)	2,03	1,26	1,67
3.	Розгалуження біля гирла р. Товарниця	3,75	0,87	1,30
4.	Звивина (верхня частина с. Розтоки)	1,84	1,38	1,75
5.	Основна протока біля крупного острова у с. Розтоки	2,50	1,10	1,57
6.	Початок звивини нижче крупного острова у с. Розтоки	3,00	1,10	1,62
7.	Пороги біля с. Тюдів	2,23	2,11	-
8.	Осередок біля с. Тюдів (нижче порогів)	2,94	1,15	1,54

структура яких зумовлена меандровою формою долини, яка, у свою чергу, зумовлена рельєфом гірських пасм, долин і проявами тектонічних процесів.

Отримана інформація про русловий процес, систему потік-русло Черемошу є результатом комплексного гідроморфологічного аналізу. Саме комплексність дає можливість на основі наближеної вихідної інформації скласти вірогідну картину процесу. Такий методичний підхід є виправданим і доцільним.

Висновки

Для системи потік-русло Черемошу у гірській частині Черемошу характерними значеннями числа Фруда є переважно більше одиниці. Швидкості течії становлять від майже 5 м/с до 8 м/с. Критерій рухомості домінантної фракції руслоформуєчих наносів перевищує 1,5. Числа Глушкова для ділянок меженних розгалужень становлять приблизно 3 та більше, а для ділянок концентрації потоку у звивинах приблизно 2.

Перші три параметри вказують на високу інтенсивність руслового процесу. В активній фазі це може призводити навіть до руйнування корінних берегів. Основні алювіальні руслові форми утворюються та розвиваються на спаді історичних паводків, або під час проходження менших паводків.

Ділянки з характерними меженними та корінними розгалуженнями чергуються з ділянками концентрованого потоку у звивинах. Система потік-русло певним чином, закономірно пристосована до цього послідовного чергування вздовж течії річки. Також ці ділянки згруповані у зв'язку з характерною меандровою будовою долини. Русло, русловий процес Черемошу у горах відноситься до групи структурно-алювіальних, класу скельних структурно-алювіальних.

Гідроморфологічні дослідження річки Черемош дають важливу інформацію для планування управління відповідними показниками якості річкового ландшафту. Для цього перспективним напрямком є формування відповідної бази даних для ГІС.

Список використаної літератури

- Костенюк Л. В. Закономірності руслоформування у річковій системі Верхнього Пруту : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Чернівці, 2012. 20 с.
- Костишин М. Д., Юсько О. В., Лосік І. І. Водний фонд Чернівецької області : довідник. Чернівці, 2006. 64 с.
- Кравчук Я. С. Геоморфологія Скибових Карпат. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2005. 232 с.
- Настюк М. Г. Гідролого-руслознавчий аналіз даних гідрометричних спостережень у басейнах Верхнього Пруту та Сірету : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Чернівці, 2014. 20 с.
- Ободовський О. Г. Руслові процеси : підручник. Київ : Київський університет, 2017. 495 с.
- Ободовський О. Г., Онищук В. В., Гребінь В. В., Розлач З. В., Коноваленко О. С., Яцюк В. В. Руслові процеси річки Лімниця. Київ, 2010. 256 с.
- Ободовський О. Г., Онищук В. В., Розлач З. В. та ін. Латориця: гідрологія, гідроморфологія, руслові процеси : монографія / за ред. О. Г. Ободовського. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2012. 319 с.
- Ющенко Ю. С. Геогідроморфологічні закономірності розвитку русел. Чернівці : Рута, 2005. 320 с.
- Ющенко Ю. С. Загальна та річкова гідраліка : навч. посіб. Чернівці : Чернівець. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2023. 342 с. ISBN 978-966-423-812-7.
- Ющенко Ю. С., Заячук М. Д., Пасічник М. Д., Паланичко О. В., Мельник А. А. Методичні аспекти гідроморфологічного аналізу антропогенної трансформації річкового ландшафту (на прикладах р. Черемош). *Український журнал природничих наук*. 2025. № 11. С. 325–344. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.34>
- Doretto A., Piano E., Larson C. E. The River Continuum Concept: lessons from the past and perspectives for the future. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2020. Vol. 77, No. 11. P. 1853–1864. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfas-2020-0039>
- Hassan M. A., Pierce J. K., Chartrand S. M. Sediment storage and fluvial sediment transport linkages across an experimental flood sequence. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 2024. Vol. 129, No. 9. P. 20 DOI: <https://doi.org/10.1029/2024JF007772>
- Yushchenko Y., Nastiyuk M., Opechenyk V., Yushchenko O., Yavkin V. Patterns of forming and distribution of maximum flood water discharge in Prut and Siret river systems. *Geographia Cassoviensis*. 2013. Vol. VII, No. 2. P. 83–90. [Електронний ресурс] URL: https://uge-share.science.upjs.sk/webshared/GCass_web_files/articles/GC-2013-7-2/Yuschenko_akol_tlac3.pdf (дата звернення 10.02.2026)

Yushchenko Y., Pasichnyk M., Zaiachuk M., Palanychko O., Nastiuk M. Hydromorphological identification of the classes of mountain and plain rivers. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2026. Vol. 34, No. 4. P. 878–892. DOI: <https://doi.org/10.15421/112575>

References

- Kosteniuk, L.V. (2012). Zakonomirnosti rusloformuvannia u richkovii systemi Verkhnoho Prutu : avtoref. dys. ... kand. heohr. nauk [Regularities of channel formation in the river system of the Upper Prut: extended abstract of PhD thesis]. Chernivtsi, 20 p. [in Ukrainian].
- Kostyshyn, M.D., Yusko, O.V. & Losik, I.I. (2006). Vodnyi fond Chernivetskoi oblasti: dovidnyk [Water fund of Chernivtsi region: handbook]. Chernivtsi, 64 p. [in Ukrainian].
- Kravchuk, Y.S. (2005). Heomorfologhiia Skybovykh Karpat [Geomorphology of the Skybovi Carpathians]. Lviv, Vydavnychiy tsentr LNU imeni Ivana Franka, 232 p. [in Ukrainian].
- Nastiuk, M.H. (2014). Hidroloho-rusloznachnyi analiz danykh hidrometrychnykh sposterezhen u baseinakh Verkhnoho Prutu ta Siretu : avtoref. dys. ... kand. heohr. nauk [Hydrological and channel analysis of hydrometric observation data in the basins of the Upper Prut and Siret: extended abstract of PhD thesis]. Chernivtsi, 20 p. [in Ukrainian].
- Obodovskiy, O.H. (2017). Ruslovi protsesy : pidruchnyk [Channel processes: textbook]. Kyiv, Kyivskiy universytet, 495 p. [in Ukrainian].
- Obodovskiy, O.H., Onyshchuk, V.V., Hrebin, V.V., Rozlach, Z.V., Konovalenko, O.S. & Yatsiuk, V.V. (2010). Ruslovi protsesy richky Limnytsi [Channel processes of the Limnytsia River]. Kyiv, 256 p. [in Ukrainian].
- Obodovskiy, O.H., Onyshchuk, V.V., Rozlach, Z.V. et al. (2012). Latorytsia: hidrologhiia, hidromorfologhiia, ruslovi protsesy : monohrafiia [Latorytsia: hydrology, hydromorphology, channel processes: monograph]. Kyiv, Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr "Kyivskiy universytet", 319 p. [in Ukrainian].
- Yushchenko, Y.S. (2005). Heohidromorfologichni zakonomirnosti rozvytku rusel [Geohydromorphological regularities of channel development]. Chernivtsi, Ruta, 320 p. [in Ukrainian].
- Yushchenko, Y.S. (2023). Zahalna ta richkova hidravlika : navch. posibnyk [General and river hydraulics: textbook]. Chernivtsi, Chernivetskyi natsionalnyi universytet imeni Yurii Fedkovych, 342 p. [in Ukrainian].
- Yushchenko, Y.S., Zaiachuk, M.D., Pasichnyk, M.D., Palanychko, O.V. & Melnyk, A.A. (2025). Metodichni aspekty hidromorfologichnoho analizu antropohennoi transformatsii richkovoho landshaftu (na prykladakh r. Cheremosh) [Methodological aspects of hydromorphological analysis of anthropogenic transformation of river landscape (on the example of the Cheremosh River)]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk*, 11, 325–344. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.34> [in Ukrainian].
- Doretto, A., Piano, E. & Larson, C.E. (2020). The River Continuum Concept: lessons from the past and perspectives for the future. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 77(11), 1853–1864. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2020-0039> [in English].
- Hassan, M.A., Pierce, J.K. & Chartrand, S.M. (2024). Sediment storage and fluvial sediment transport linkages across an experimental flood sequence. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 129(9), 20 <https://doi.org/10.1029/2024JF007772> [in English].
- Yushchenko, Y., Nastiuk, M., Opechenyk, V., Yushchenko, O. & Yavkin, V. (2013). Patterns of forming and distribution of maximum flood water discharge in Prut and Siret river systems. *Geographia Cassoviensis*, 7(2), 83–90. [Electronic resource]. URL: https://uge-share.science.upjs.sk/webshared/GCass_web_files/articles/GC-2013-7-2/Yuschenko_akol_tlac3.pdf (access date 10.02.2026) [in English].
- Yushchenko, Y., Pasichnyk, M., Zaiachuk, M., Palanychko, O. & Nastiuk, M. (2026). Hydromorphological identification of the classes of mountain and plain rivers. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 34(4), 878–892. <https://doi.org/10.15421/112575> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 13.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 09.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



УДК 911.3

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.9>

ДЕМОГРАФІЧНІ ДИСПРОПОРЦІЇ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД ЧЕРНІВЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ ЯК ОСНОВА ФОРМУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМ РОЗСЕЛЕННЯ

І. І. Косташук¹, М. В. Балинський²

У статті проведено комплексний суспільно-географічний аналіз демографічних диспропорцій 52 територіальних громад (ТГ) Чернівецької області. Досліджено їхній системоутворюючий вплив на формування локальних систем розселення після завершення адміністративно-територіальної реформи 2020 року. Наукова новизна роботи полягає в оцінці громад як єдиної взаємопов'язаної системи, що перебуває під впливом географічної неоднорідності регіону – від рівнинної Прутсько-Дністровської зони до гірських районів Карпат. Доведено, що реформа інституційно закріпила існуючі демографічні контрасти, які тепер визначають фінансову спроможність, інвестиційну привабливість та стратегічні траєкторії розвитку новоутворених одиниць.

Дослідження виявляє глибокі дисбаланси в демографічних показниках: зокрема, Чернівецька міська громада як ядро регіону концентрує понад 30% населення області при щільності 1508,7 осіб/км². Це перевищує демографічний потенціал найменших гірських громад, таких як Селятинська, у понад 60 разів. Спостерігається значна поляризація за рівнем урбанізації та віковою структурою. У той час як окремі громади (наприклад, Лівинецька) стикаються з викликами через високу частку літнього населення (32%), інші (зокрема, Тереблеченська) демонструють значно молодший профіль – лише 7,6% осіб пенсійного віку. Також виявлено аномалію у статевій структурі Селятинської громади, де чоловіки становлять 55,3% населення через специфіку лісозаготівельної галузі.

Окрему увагу приділено поліетнічності регіону, де висока концентрація румунського та молдовського населення (понад 90% у Герцаївській громаді) формує специфічні транскордонні соціально-економічні вектори. Крім того, враховано вплив повномасштабного вторгнення 2022 року, яке перетворило область на тиловий хаб для внутрішньо переміщених осіб (ВПО), що створило додаткове навантаження на соціальну інфраструктуру. У підсумку доведено, що демографічний потенціал є вирішальним для ієрархії локальних систем розселення. Результати дослідження підкреслюють необхідність розробки диференційованих регіональних стратегій для пом'якшення наслідків депопуляції та забезпечення сталого розвитку всіх 52 громад області.

Ключові слова: децентралізація, територіальна громада, демографічні диспропорції, локальні системи розселення, щільність населення, чисельність населення.

¹ доктор географічних наук, професор,
завідувач кафедри географії України та регіоналістики
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: i.kostaschuk@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9338-4538

² аспірант кафедри географії України та регіоналістики
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: valer13572@gmail.com
ORCID: 0009-0008-5795-3888

DEMOGRAPHIC DISPROPORTIONS OF TERRITORIAL COMMUNITIES IN THE CHERNIVTSI REGION AS THE BASIS FOR FORMING LOCAL SETTLEMENT SYSTEMS

I. I. Kostashchuk, M. V. Balynskyi

This article presents a comprehensive socio-geographical analysis of demographic disparities across the 52 territorial communities (TCs) of Chernivtsi Oblast, investigating their system-forming impact on local settlement systems following the 2020 administrative-territorial reform. The research addresses a significant scientific gap by evaluating these communities as an interconnected system influenced by the region's diverse geographic zones—ranging from the Prut-Dniester plain to the Carpathian Mountains. It is argued that the reform institutionally embeds pre-existing demographic contrasts, which now dictate the financial capacity, investment attractiveness, and strategic development trajectories of these newly formed units.

The study identifies profound imbalances in population metrics; notably, the demographic core of the Chernivtsi city community accounts for over 30% of the oblast's population, with a density of 1508.7 persons/km², exceeding the demographic potential of the smallest mountainous communities, such as Selyatynska, by more than 60 times. Further polarization is observed in urbanization levels and age structures. While communities like Livynetska face acute challenges with a 32% elderly population, others like Tereblechenska exhibit a much younger demographic profile (only 7.6% at retirement age), often linked to specific ethno-cultural traditions and higher birth rates. Additionally, the study highlights an anomaly in the gender ratio within the Selyatynska mountain community, where men comprise 55.3% of the population due to the local forestry industry.

The analysis also explores the region's unique poly-ethnic structure, where a high concentration of Romanian and Moldovan populations (reaching over 90% in communities like Hertsaivska) fosters distinct transborder social and economic vectors. Furthermore, the article considers the impact of the 2022 full-scale invasion, which positioned the region as a rear hub for internally displaced persons (IDPs), adding significant strain to a social infrastructure that was already unevenly distributed. Ultimately, the research proves that demographic potential determines the hierarchy and functional type of local systems, with Chernivtsi acting as a first-rank core for the entire region. The findings underscore the necessity for differentiated regional strategies to mitigate depopulation and ensure sustainable development across all 52 communities.

Key words: decentralization, territorial community, demographic disparities, local settlement systems, population density, population size.

Вступ

Завершальний етап адміністративно-територіальної реформи в Україні у 2020 році зумовив створення у Чернівецькій області 52 територіальних громад (ТГ) – нових базових одиниць місцевого самоврядування (Децентралізація ..., 2019). Унаслідок цього процесу, новостворені громади стали нерівними щодо людського капіталу, їхнього визначального ресурсу. Так, станом на 01.01.2022 р., демографічний ресурс Чернівецької міської територіальної громади, що зосереджує понад 30% населення області, перевищував ресурс найменш заселеної Селятинської гірської громади більш ніж у 60 разів.

Ці істотні диспропорції у чисельності, щільності, віковій та етнічній структурі населення є визначальним фактором, що детермінує функціональну спроможність та траєкторію розвитку кожної окремої громади. Саме демографічна база безпосередньо впливає на податкові надходження в місцеві бюджети (ПДФО в тому числі),

зумовлює інвестиційну привабливість території та наявність трудових ресурсів задля розвитку економіки (Топчієв та ін., 2015; Запотоцький, 2012). Громади зі старінням населення, що прогресує, та низькою щільністю стикаються з проблемою нерентабельності у питанні утримання соціальної інфраструктури. Це охоплює школи й амбулаторії, що здатне ініціювати механізм ще більшої депопуляції (Барановський, 2009).

Повномасштабне вторгнення російської федерації 24 лютого 2022 року спричинило подальше поглиблення демографічної кризи в Україні (Гладун, 2024). Масштабна вимушена міграція, людські втрати та руйнування інфраструктури стали додатковими чинниками, які впливають на демографічні процеси в державі. Чернівецька область не зазнала прямих бойових дій, вона стала одним із тиллових регіонів, що прийняв значну кількість внутрішньо переміщених осіб. Це створило додаткове навантаження на соціальну інфраструктуру громад, яка й до цього була нерівномірно розподілена (Гладун, 2024).

Актуальність дослідження полягає у нагальній потребі наукового осмислення, зафіксованих на початок 2022 року, демографічних диспропорцій як фундаменту, що визначає стійкість, життєздатність та ієрархію локальних систем розселення в сучасних умовах. Розуміння того, як вихідні демографічні нерівності впливають на здатність громад адаптуватися до нових викликів, є критично важливим для розробки дієвих стратегій регіонального розвитку, що повинні бути спрямовані на пом'якшення цих нерівностей та забезпечення сталого розвитку всіх територіальних громад (Берданова і Вакуленко, 2012).

Теоретико-методологічні засади дослідження регіональних диспропорцій, просторової нерівності та трансформації систем розселення в Україні закладені у фундаментальних працях О. Топчієва, К. Мезенцева, Г. Підгрушного, Е. Лібанової та інших науковців. Їхні роботи розкривають загальні закономірності поляризації соціально-економічного простору та наслідки демографічних кризових явищ на загальнодержавному рівні (Мезенцев та ін., 2014).

Окремий масив наукових розвідок присвячений аналізу наслідків реформи децентралізації 2014–2020 рр. У працях В. Кравціва, І. Сторонянської, Я. Жаліла та інших дослідників розглядаються нові можливості та ризики для територіальних громад, що виникли внаслідок передачі повноважень та фінансових ресурсів на місця. В цих роботах було доведено, що фіскальна децентралізація активізувала розвиток інфраструктури та збільшила доходи місцевих бюджетів, проте водночас поглибила розриви між спроможними та депресивними територіями (Топчієв та ін., 2015). Окремі аспекти суспільно-географічного розвитку Чернівецької області та її складових вивчали І. Костащук, Н. Заблотовська.

В останні роки з'являються праці, що аналізують суспільно-географічні трансформації вже в межах нового адміністративного устрою Чернівецької області. Зокрема, досліджено особливості формування локальних систем розселення та демографічні процеси у Вишницькому та Чернівецькому районах (Заблотовська та ін., 2023). Ці роботи є важливими, оскільки фіксують перші результати реформи на субрегіональному рівні.

Однак, незважаючи на наявність цих праць, вони, як правило, обмежуються аналізом одного укрупненого району. Натомість комплексний порівняльний аналіз, що охо-

плював би всі 52 територіальні громади області як єдину, взаємопов'язану систему, досі відсутній. Переважна більшість досліджень констатує наявність демографічних проблем, проте бракує робіт, де саме демографічні диспропорції розглядаються як ключовий системоутворюючий фактор, що визначає ієрархію, функціональну структуру та вектори розвитку нових локальних систем розселення в пост-реформений період. Дана стаття покликана заповнити цю наукову прогалину.

Метою даної статті є виявлення та суспільно-географічна інтерпретація демографічних диспропорцій між 52 територіальними громадами Чернівецької області, а також у визначенні їхньої ролі як ключового фактора формування сучасних локальних систем розселення.

Матеріал і методи

Інформаційну базу дослідження складають статистичні дані Головного управління статистики у Чернівецькій області щодо чисельності, статеві-вікового та етнічного складу наявного населення 52 територіальних громад Чернівецької області станом на 01.01.2022 р. (Головне..., 2022). У роботі використано комплекс суспільно-географічних методів дослідження: порівняльно-географічний (для зіставлення демографічних показників між громадами), статистичний (для аналізу кількісних характеристик населення), картографічний (для візуалізації просторових диспропорцій), а також метод типологізації (для групування громад за демографічними ознаками). Аналіз проведено в розрізі чотирьох ключових параметрів: чисельності та щільності населення, рівня урбанізації, вікової та етнічної структури.

Результати

Внаслідок адміністративно-територіальної реформи, фінальний етап якої відбувся у 2020 році, територію Чернівецької області було реорганізовано. Замість 11 районів попереднього устрою було сформовано 3 укрупнені райони – Вишницький, Дністровський та Чернівецький, які об'єднують 52 територіальні громади (Децентралізація ..., 2019). Ця нова конфігурація стала адміністративною основою для формування сучасних локальних систем розселення, центрами яких виступають адміністративні центри відповідних громад.

Чернівецька область, розташована на південному заході України, характеризується природною диференціацією, що впливає

на систему розселення. Її територія охоплює три природні зони: рівнинну Прутсько-Дністровську, передгірську та гірську, що належить до Покутсько-Буковинських Карпат. Ця географічна неоднорідність зумовлює контрасти у щільності населення, характері господарської діяльності та транспортній доступності між різними частинами регіону.

Загальна площа області становить 8096,7 км², а сукупна чисельність наявного населення, згідно з даними по громадах станом на 01.01.2022, складає 886 231 особу (рис. 1). Це формує середню щільність населення на рівні 109,5 осіб/км², що є одним із вищих показників в Україні. Проте ці усереднені показники приховують істотні внутрішні диспропорції, які існують між окремими територіальними громадами і є предметом подальшого аналізу в даній роботі.

Усереднені показники по області приховують значну диференціацію демографічного потенціалу між 52 територіальними громадами. Аналіз статистичних даних станом на 01.01.2022 дозволяє виявити чотири основні вектори диспропорцій, які є визначальними для формування сучасних локальних систем розселення: за чисельністю та щільністю населення, за рівнем урбанізації, у віковій та етнічній структурах.

Спостерігається значний розрив у чисельності населення між громадами (рис. 2). Чернівецька міська громада є демографічним ядром регіону, концентруючи

272 180 мешканців, що становить понад 30% від усього населення області. На протилежному полюсі знаходяться малочисельні громади, такі як Кострижівська (4 359 осіб), Карапчівська (4 431 особа) та Селятинська (4 718 осіб). Таким чином, демографічний потенціал обласного центру перевищує потенціал найменших громад у понад 60 разів, що створює об'єктивну нерівність у їхніх фінансових, інституційних та інфраструктурних можливостях.

Ці контрасти прямо відображаються у показниках щільності населення. Для Чернівецької громади характерна щільність у 1508,7 осіб/км², що є типовим для великого міського центру. Високі показники також демонструють приміські та компактні громади, як-от Чагорська (220 осіб/км²) та Великокучурівська (148 осіб/км²). Водночас гірські території Вижицького району є зонами демографічного розрідження. Низькі показники зафіксовано у Селятинській (12,8 осіб/км²), Усть-Путильській (34,5 осіб/км²) та Конятинській (39 осіб/км²) громадах. Така низька щільність, зумовлена гірським рельєфом та обмеженою транспортною доступністю, що об'єктивно ускладнює надання соціальних послуг та підтримку інфраструктури (Барановський, 2009).

Система розселення області є поляризованою. З одного боку, існують два високоурбанізовані центри – Новодністровська

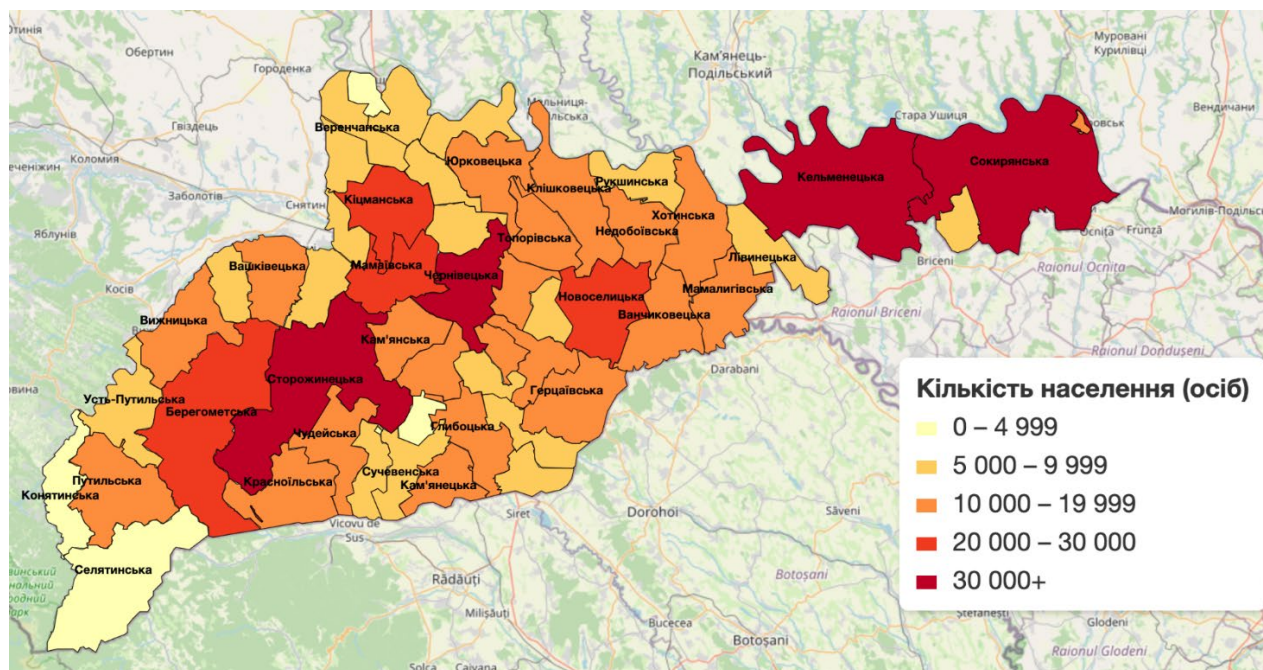


Рис. 1. Кількість населення (осіб) в територіальних громадах Чернівецької області

(100% міського населення) та Чернівецька (97,85%) громади. З іншого боку, значна кількість громад (наприклад, Банилівська, Брусницька, Ванчиковецька) є повністю сільськими, не маючи у своєму складі жодного міського поселення. Між цими полюсами розташовані громади змішаного типу, де адміністративні центри є містами чи селищами, але більшість населення проживає у селах. Прикладами є Сторожинецька (66,4% сільського населення), Вижницька (76,6%) та Сокирянська (76,7%) громади. Така структура створює нерівність у доступі до адміністративних, освітніх, медичних та культурних послуг, які переважно сконцентровані у міських центрах, що посилює маятникові міграції та відтік населення із сільської місцевості (Територіальні ..., 2020).

Загальнодержавна тенденція старіння населення відображається і в громадах Чернівецької області, проте з помітними територіальними відмінностями (рис. 3). Найбільша частка осіб віком понад 60 років зафіксована у Лівинецькій (32%), Недобойській (25%) та Брусницькій (22%) громадах. Це створює підвищене навантаження на їхні соціальні системи і свідчить про скорочення трудового потенціалу (Мезенцев, 2005). Водночас деякі громади демонструють молодшу вікову структуру. Наприклад, у Тереблеченській громаді

частка осіб пенсійного віку становить 7,6%, у Красноільській – 15,3%, у Селятинській – 15,5%. Це може бути пов'язано з вищими показниками народжуваності, що зумовлено, в тому числі, етнокультурними традиціями (Людський ..., 2010). У статевій структурі більшості громад переважає жіноче населення. Винятком є гірська Селятинська громада, де кількість чоловіків (55,3%) перевищує кількість жінок (44,7%), що може бути пов'язано зі специфікою місцевого господарства, зокрема лісозаготівлею.

Характерною рисою Чернівецької області є її поліетнічність, що створює ще один вимір диспропорцій. Поряд із громадами, де абсолютну більшість становлять українці (напр., Конятинська – 100%, Ставчанська – 100%), існує компактна група громад з високою концентрацією румунського та молдовського населення. Румунська етнічна більшість характерна для Герцаївської (93,6%), Красноільської (90,6%), Острицької (89,4%) та Тереблеченської (81,2%) громад. Молдовське населення переважає у Ванчиковецькій (80%), Мамалигівській (80%) та Новоселицькій (61,9%) громадах. Цей фактор впливає на соціально-економічні процеси, зокрема на транскордонну співпрацю, трудову міграцію та електоральні вподобання, формуючи локальні системи розселення з різними

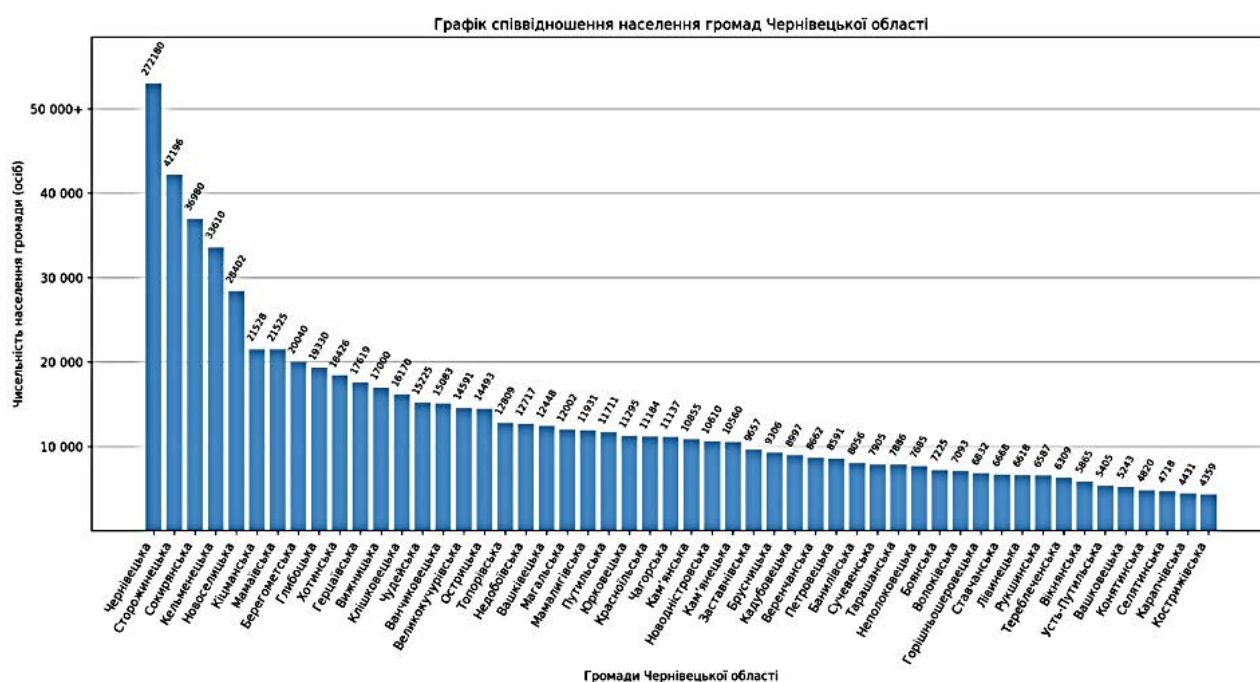


Рис. 2. Співвідношення населення громад Чернівецької області

зовнішніми векторами тяжіння (Костащук і Чернятинський, 2019).

Обговорення

Проведений аналіз підтверджує, що виявлені демографічні диспропорції є не просто набором статистичних відхилень, а системоутворюючою основою, на якій вибудовується нова просторова організація суспільства в Чернівецькій області. Адміністративно-територіальна реформа інституціоналізувала 52 локальні системи розселення, ядром кожної з яких став адміністративний центр відповідної ТГ (Топчієв та ін., 2015). Однак саме демографічний потенціал визначає потужність, ієрархічне місце та функціональний тип цих новоутворених систем.

Диспропорції у чисельності та щільності населення безпосередньо визначають ієрархію та життєздатність локальних систем. Чернівецька міська громада формує систему найвищого рангу, яка виконує функції не лише локального центру, а й ядра тяжіння для всієї області, надаючи послуги вищого рівня (спеціалізована медицина, вища освіта, культура). На протилежному полюсі знаходяться малочисельні та розріджені системи, як-от Селятинська, де низький демографічний потенціал обмежує можливості для роз-

витку та ускладнює надання навіть базових соціальних послуг, ставлячи їх у функціонально залежне становище від розвинутіших сусідів (Територіальні ..., 2020).

Поляризація за рівнем урбанізації зумовлює функціональну спеціалізацію систем розселення. Високоурбанізовані системи (Чернівецька, Новодністровська) виступають як адміністративні, промислові та сервісні центри. Водночас повністю сільські громади утворюють системи аграрного типу, залежні від найближчих міських центрів у питаннях збуту продукції, отримання спеціалізованих послуг та ринку праці, що посилює маятникові міграції (Барановський, 2009).

Вікова структура виступає індикатором довгострокового потенціалу локальних систем. Громади зі значною часткою населення старшого віку (напр., Лівинецька) стикаються з ризиком подальшої депопуляції, скороченням трудових ресурсів та зростанням навантаження на соціальну сферу. Натомість системи з молодшою віковою структурою (напр., Красноільська, Тереблеченська) мають більш сприятливі демографічні передумови для сталого розвитку.

Нарешті, етнічні диспропорції додають специфічний вимір до формування систем

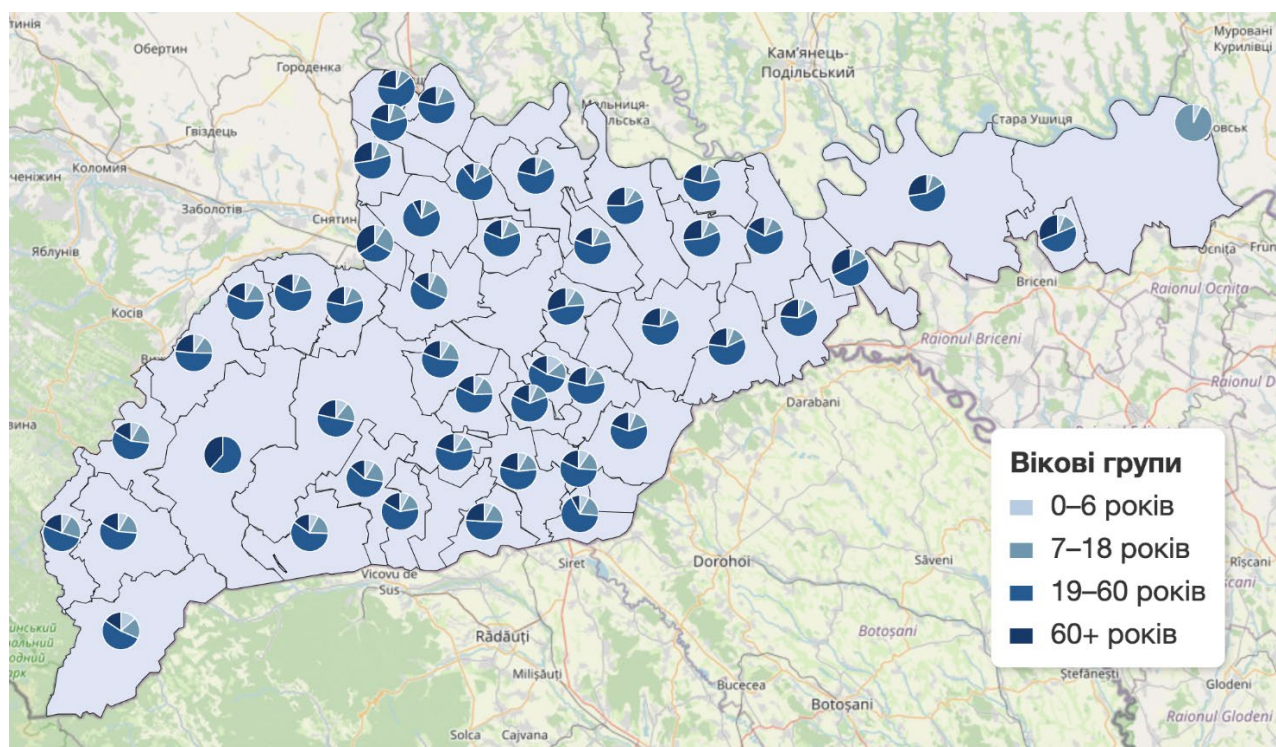


Рис. 3. Розподіл постійного населення за віковими групами в територіальних громадах Чернівецької області

розселення. Громади з високою часткою румунського та молдовського населення формують локальні системи, які часто характеризуються стійкими транскордонними зв'язками (родинними, культурними, економічними). Це створює додатковий вектор тяжіння, орієнтований не лише на внутрішньообласні центри, а й на сусідні держави, що впливає на міграційні потоки та соціально-економічну орієнтацію цих територій.

Отже, сукупність демографічних диспропорцій створює в межах Чернівецької області диференційований простір локальних систем розселення, що відрізняються за своєю потужністю, функціями, стійкістю та векторами зовнішніх зв'язків.

Висновки

Проведене суспільно-географічне дослідження підтверджує, що демографічні диспропорції між територіальними громадами Чернівецької області є ключовим системоутворюючим фактором, який визначає структуру та ієрархію сучасних локальних систем розселення. Ці диспропорції, інституційно закріплені адміністративно-територіальною реформою, зумовлені сукупністю природно-географічних, історичних та соціально-економічних чинників.

Ключові результати дослідження полягають у наступному:

1. Демографічна структура Чернівецької області є поляризованою. Виявлено істотний розрив у чисельності та щільності населення між урбаністичним ядром (Чернівецька громада) та малочисельною, переважно

гірською та аграрною периферією. Цей контраст є визначальним для ієрархії новоутворених локальних систем розселення, їхнього економічного потенціалу та фінансової спроможності.

2. Диспропорції у рівні урбанізації, віковій та етнічній структурах формують функціональну та культурну специфіку локальних систем. Урбанізовані системи виступають центрами надання послуг, тоді як сільські є їхнім аграрним оточенням. Вікова структура визначає довгостроковий демографічний потенціал громад, а поліетнічність створює додаткові, зокрема транскордонні, вектори соціально-економічних зв'язків.

3. Сукупність виявлених демографічних диспропорцій безпосередньо визначає конфігурацію, потужність та перспективи розвитку кожної з 52 локальних систем розселення. Демографічний потенціал виступає ключовим фактором, що детермінує місце кожної громади в новій просторовій структурі регіону та її здатність до сталого розвитку.

Таким чином, збалансований розвиток Чернівецької області вимагає врахування виявлених контрастів та розробки диференційованих стратегій регіональної політики. Пріоритетними напрямками мають стати заходи, спрямовані на пом'якшення негативних наслідків депопуляції у периферійних громадах, модернізація інфраструктури для підвищення зв'язності територій, а також стимулювання економічної активності з урахуванням ресурсного та людського потенціалу кожної громади.

Список використаної літератури

Барановський М.О. Наукові засади суспільно-географічного вивчення сільських депресивних територій України. Ніжин, 2009. 396 с.

Берданова О., Вакуленко В. Стратегічне планування місцевого розвитку. Практичний посібник / Швейцарсько-український проект «Підтримка децентралізації в Україні - DESPRO». Київ : ТОВ «Софія-А». 2012. 88 с.

Гладун О.М. Вплив російсько-української війни на демографічну ситуацію в Україні. *Вісник Національної академії наук України*. 2024. №5. С. 50–54. <https://doi.org/10.15407/visn2024.05.050>

Децентралізація влади: порядок денний на середньострокову перспективу: аналітична доповідь / за ред. Я.А. Жаліла. Київ : НІСД, 2019. 192 с.

Головне управління статистики у Чернівецькій області. Чисельність наявного населення Чернівецької області на 01.01.2022 р. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.cv.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 15.01.2025).

Заблотовська Н., Станковська Ю., Бабушак О. Дослідження особливостей соціально-просторових зв'язків у системі розселення Чернівецької області. *Науковий вісник Чернівецького університету. Серія «Географія»*. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2023. Вип. 845. С. 29–40. <https://doi.org/10.31861/geo.2023.845.29-40>

Запотоцький С.П. Регіональна конкурентоспроможність: суспільно-географічні засади формування: монографія. Київ : Бізнес Медіа Консалтинг, 2012. 424 с.

Костащук І.І., Чернятинський М.С. Суспільно-географічні особливості формування умов життя населення (на матеріалах Чернівецької області). *Науковий вісник Чернівецького університету. Серія: Географія*. 2019. Вип. 814. С. 70–76.

Людський розвиток в Україні: мінімізація соціальних ризиків: монографія / За ред. Е.М. Лібанової. Київ : Ін-т демографії та соціальних досліджень ім. М.В. Птухи НАН України, 2010. 496 с.

Мезенцев К.В. Суспільно-географічне прогнозування регіонального розвитку: монографія. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. 253 с.

Мезенцев К.В., Підгрушний Г. П., Мезенцева Н. І. Регіональний розвиток в Україні: суспільно-просторова нерівність і поляризація: монографія. Київ : ДП «Прінт Сервіс», 2014. 132 с.

Територіальні громади в умовах децентралізації: ризики та механізми розвитку: монографія / за ред. Кравціва В. С., Сторонянської І. З. Львів : ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М. І. Долишнього НАН України», 2020. 531 с.

Топчієв О.Г., Мальчикова Д.С., Яворська В.В. Регіоналістика: географічні основи регіонального розвитку і регіональної політики. Навч. посіб. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. 372 с.

References

Baranovskyi, M.O. (2009). *Naukovi zasady suspilno-heohrafichnoho vyvchennia silskykh depresyynykh terytorii Ukrainy* [Scientific foundations of socio-geographical study of rural depressed territories of Ukraine]. Nizhyn [in Ukrainian].

Berdanova, O., & Vakulenko, V. (2012). *Stratehichne planuvannia mistsevoho rozvytku. Praktychnyi posibnyk*. [Strategic planning of local development. Practical guide]. Kyiv: Sofia-A [in Ukrainian].

Hladun, O.M. (2024). Vplyv rosiisko-ukrainskoi viiny na demohrafichnu sytuatsiiu v Ukraini [Impact of the Russian-Ukrainian war on the demographic situation in Ukraine]. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* [Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine], (5), 50–54. <https://doi.org/10.15407/visn2024.05.050> [in Ukrainian].

Main Department of Statistics in Chernivtsi Oblast. (2022). *Chyselnist naiavnogo naselennia Chernivetskoi oblasti na 01.01.2022 r.* [Population of Chernivtsi Oblast as of 01.01.2022]. [Electronic resource] URL: <http://www.cv.ukrstat.gov.ua> (access date 15.01.2025) [in Ukrainian].

Zablotska, N., Stankovska, Yu., & Babushchak, O. (2023). Doslidzhennia osoblyvosti sotsialno-prostorovykh zviyazkiv u systemi rozselennia Chernivetskoi oblasti [Study of features of socio-spatial connections in the settlement system of Chernivtsi Oblast]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu. Seriya "Heohrafiia"* [Scientific Bulletin of Chernivtsi University. Series "Geography"], (845), 29–40. <https://doi.org/10.31861/geo.2023.845.29-40> [in Ukrainian].

Zapototskyi, S.P. (2012). *Rehionalna konkurentospromozhnist: suspilno-heohrafichni zasady formuvannia* [Regional competitiveness: socio-geographical foundations of formation]. Kyiv: Biznes Media Konsaltnh [in Ukrainian].

Zhalilo, Ya.A. (Ed.). (2019). *Detsentralizatsiia vlady: poriadok dennyi na serednostrokovu perspektivu: analitychna dopovid* [Decentralization of power: agenda for the medium-term perspective: analytical report]. Kyiv: NISS [in Ukrainian].

Kostashchuk, I.I., & Cherniatynskyi, M.S. (2019). Suspilno-heohrafichni osoblyvosti formuvannia umov zhyttia naselennia (na materialakh Chernivetskoi oblasti) [Socio-geographical features of formation of living conditions of the population (based on materials of Chernivtsi Oblast)]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu. Seriya: Heohrafiia* [Scientific Bulletin of Chernivtsi University. Series "Geography"], (814), 70–76 [in Ukrainian].

Kravtsiv, V. S., & Storonianska, I. Z. (Eds.). (2020). *Terytorialni hromady v umovakh detsentralizatsii: ryzyky ta mekhanizmy rozvytku* [Territorial communities in decentralization conditions: risks and development mechanisms]. Lviv: Dolishnyi Institute of Regional Research of NAS of Ukraine [in Ukrainian].

Libanova, E.M. (Ed.). (2010). *Liudskyi rozvytok v Ukraini: minimizatsiia sotsialnykh ryzykiv* [Human development in Ukraine: minimizing social risks]. Kyiv: Ptoukha Institute for Demography and Social Studies of the NAS of Ukraine [in Ukrainian].

Mezentsev, K.V. (2005). *Suspilno-heohrafichne prohozuvannia rehionalnoho rozvytku* [Socio-geographical forecasting of regional development]. Kyiv: Kyivskyi universytet [in Ukrainian].

Mezentsev, K.V., Pidhrushnyi, H. P., & Mezentseva, N. I. (2014). *Rehionalnyi rozvytok v Ukraini: suspilno-prostora nerivnist i poliaryzatsiia* [Regional development in Ukraine: socio-spatial inequality and polarization]. Kyiv: Print Servis [in Ukrainian].

Topchiiev, O.H., Malchykova, D.S., & Yavorska, V.V. (2015). *Rehionalistyka: heohrafichni osnovy rehionalnoho rozvytku i rehionalnoi polityky* [Regional studies: geographical foundations of regional development and regional policy]. Kherson: OLDI-PLIUS [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 03.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 07.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 16
Український журнал природничих наук
№ 16

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 551.578.46:528.946(477.87)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.10>

ПРОСТОРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛАВИННОЇ НЕБЕЗПЕКИ БОРЖАВСЬКОГО ГІРСЬКОГО МАСИВУ ЗАСОБАМИ QGIS

В. В. Маєвський¹, Д. І. Холявчук², С. М. Кирилюк³, Я. А. Поп'юк⁴, І. П. Добинда⁵

Снігові лавини є одним із провідних небезпечних природних процесів у Карпатах, що становлять реальну загрозу для туристичної діяльності, транспортної інфраструктури та безпеки людей на гірських схилах. Значні абсолютні висоти, розвинена мережа відкритих полонин і активне туристичне використання у зимовий сезон визначає необхідність детального лавинного районування території Боржавського гірського масиву. Метою дослідження є комплексна оцінка та просторове моделювання лавинної небезпеки Боржавського гірського масиву шляхом інтеграції морфометричних параметрів рельєфу та характеристик підстильної поверхні засобами геоінформаційних технологій.

У дослідженні використано цифрові моделі рельєфу SRTM та ASTER GDEM з просторовою роздільною здатністю 30 м/піксель, а також мультиспектральні супутникові знімки Landsat 8/9.

¹ студент кафедри фізичної географії, геоморфології та палеогеографії
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: maievskiy.vladyslav@chnu.edu.ua
ORCID: 0009-0001-8371-8186

² доктор географічних наук,
доцент кафедри фізичної географії, геоморфології та палеогеографії
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: d.kholyavchuk@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-7489-7848

³ кандидат географічних наук,
доцент кафедри фізичної географії, геоморфології та палеогеографії
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: s.kutylyuk@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-2532-404X

⁴ кандидат географічних наук,
асистент кафедри фізичної географії, геоморфології та палеогеографії
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці;
Інститут географії Національної академії наук України, м. Київ)
e-mail: y.popiuk@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-2230-0365

⁵ кандидат географічних наук,
доцент кафедри фізичної географії, геоморфології та палеогеографії
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: i.dobynda@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-5242-7637

Опрацювання даних виконано в середовищі QGIS 3.x із застосуванням модулів GDAL/Processing і SAGA. Проаналізовано п'ять ключових морфометричних факторів лавиноутворення: абсолютну висоту, крутизну схилів, їх експозицію, планову та профільну кривизну поверхні. Тип підстильної поверхні класифіковано за алгоритмом ISO Cluster Unsupervised Classification (QGIS/GDAL) на основі знімків Landsat з допомогою плагіна Spatial Analysis Toolbox. Кожному класу кожного фактора присвоєно зважений коефіцієнт лавинної небезпеки (від 0 до 3). Інтегральний індекс ризику розраховано за мультиплікативною формулою, яка враховує адитивний внесок морфометричних параметрів і підсилювальну роль крутизни та шорсткості поверхні.

Встановлено, що найвищий рівень лавинної небезпеки притаманний пригребневим ділянкам масиву на висотах понад 1 400 м, де поєднуються крутизна схилів 30–45°, південна експозиція та відсутність лісового покриву. Зони високої лавинної небезпеки займають близько 15 км², або 4 % загальної площі масиву Боржава, тоді як безпечні та малонебезпечні території становлять понад 80 %. Лісові масиви виступають ключовим природним стабілізатором снігового покриву, суттєво знижуючи ризик у нижніх частинах схилів.

Результати узгоджуються з дендрохронологічними реконструкціями лавинної активності у суміжних масивах Східних Карпат і підтверджують ефективність ГІС-моделювання для попереднього лавинного районування середньогірських територій Українських Карпат. Отримані карти можуть слугувати науковою основою для коригування туристичних маршрутів, обмеження доступу до небезпечних зон у зимовий сезон та обґрунтування заходів інженерного захисту.

Ключові слова: снігові лавини, лавинна небезпека, ГІС-моделювання, морфометрія рельєфу, Боржавський хребет, Українські Карпати, геопросторовий аналіз.

SPATIAL MODELLING OF AVALANCHE HAZARD IN THE BORZHAVA MOUNTAIN MASSIF USING QGIS TOOLS

V. V. Maievskyi, D. I. Kholiavchuk, S. M. Kyryliuk, Y. A. Popiuk, I. P. Dobynda

Snow avalanches represent one of the most significant natural geomorphological hazards in the Carpathians, posing a direct threat to tourism, transport infrastructure and human safety on mountain slopes. The Borzhava mountain massif, a popular recreational area in Zakarpattia Oblast, is characterised by considerable elevation, extensive open subalpine meadows (polonyny), and intense winter tourism, all of which necessitate detailed avalanche hazard zonation.

The study aims to assess comprehensively and spatially model avalanche hazard across the Borzhava massif by integrating morphometric relief parameters and land cover characteristics using GIS technologies. Digital elevation models SRTM and ASTER GDEM (30 m resolution) and multispectral Landsat 8/9 satellite imagery were used as primary data sources. All processing was performed in QGIS 3.x using the GDAL/Processing module and SAGA module. Five key morphometric factors influencing avalanche formation were analysed: absolute altitude, slope steepness, aspect, plan curvature, and profile curvature. Land cover type was classified using the ISO Cluster Unsupervised Classification algorithm (QGIS/GDAL) from Landsat imagery using the Spatial Analysis Toolbox plugin. Each class of each factor was assigned a weighted avalanche hazard coefficient (0–3). An integrated risk index was computed using a multiplicative formula that accounts for the additive contribution of morphometric parameters and the amplifying role of slope steepness and surface roughness. The highest avalanche hazard is concentrated in the ridge-crest zone above 1,400 m a.s.l., where steep slopes of 30–45°, southern aspects, and absence of forest cover coincide. High-hazard zones cover approximately 15 km² (4 % of the massif area), while safe and low-hazard territories account for over 80 %. Forest stands act as a key natural stabiliser of snow cover, substantially reducing risk on lower slopes.

The results are consistent with dendrochronological reconstructions of avalanche activity in adjacent Eastern Carpathian massifs and confirm the effectiveness of GIS-based modelling for preliminary avalanche zonation in the mid-mountain terrain of the Ukrainian Carpathians. The produced maps can serve as a scientific basis for adjusting tourist routes, restricting access to hazardous zones during winter, and justifying engineering protection measures.

Key words: snow avalanches, avalanche hazard, GIS modelling, relief morphometry, Borzhava Ridge, Ukrainian Carpathians, geospatial analysis.

Вступ

Снігові лавини є одним із найнебезпечніших геоморфологічних процесів у гірських регіонах світу, становлячи загрозу для життя людей, туристичної інфраструктури та господарських об'єктів. В Українських Карпатах лавинні процеси мають локальний, але потенційно небезпечний характер. Офіційно ідентифіковано понад 780 лавинних осередків, а за даними спостережень 1970–2009 рр. зафіксовано щонайменше 539 сходжень (Грищенко та ін., 2014). Боржавський хребет, один із найпопулярніших рекреаційних районів Закарпаття, належить до таких небезпечних ареалів. На його схилах виділено 36 постійних ділянок зародження лавин (Грищенко та ін., 2014).

Дослідження лавинних процесів пройшло шлях від описових кадастрових методів до складного геоінформаційного і дендрохронологічного моделювання. Зарубіжні дослідники – Д. МакКланг і П. Шерер, Б. Джеймисон і К. Стетем, М. Маджоні й У. Грубер заклали теоретичну основу розуміння ролі топографічних чинників у формуванні лавин (McClung & Schaerer, 1993; Jamieson & Stethem, 2002; Maggioni & Gruber, 2003). У Карпатському регіоні важливим є внесок І. Г. Гаврила та ін., які реконструювали хронологію лавинної активності у Роднянських горах (Східні Карпати, Румунія) методом дендрохронології, встановивши зв'язок між частотою сходжень і режимом снігонакопичення. Ця методика реалізована для Чорногірського масиву (Східні Карпати, Україна) (Gavrila et al., 2022; Decaulne et al., 2023a). Авторами розроблено комплексний підхід, що поєднує дендрохронологічну реконструкцію лавинної активності протягом останнього століття з аналізом синоптичних умов, і показано залежність частоти сходжень від циркуляційних типів атмосфери.

Попередньо встановлено, що морфометричні параметри рельєфу є провідними умовами просторового поширення лавин. Критична крутизна для сходження лавин у Карпатах зазвичай становить 30–45°, хоча зафіксовані сходження і на схилах із нахилом 15–18° (Біланюк і Тиханович, 2015; Rudyi et al., 2020). Південні експозиції є найактивнішими в періоди відлиги через інтенсивне радіаційне прогрівання та повторні цикли підтавання й перемерзання снігу. Опуклі форми рельєфу пригребеневих зон пов'язані з підвищеними напруженнями у сніговому покриві та підвищеною ймовір-

ністю ініціації лавинних процесів (Biskupic & Barka, 2010).

У попередніх дослідженнях також виявлено, що рослинний покрив і лісові екосистеми виконують функцію природного стабілізатора снігового покриву. Відсутність лісу на вершинних і пригребеневих ділянках, а також антропогенне зведення лісів через суцільні рубки та розширення пасовищ є ключовими передумовами формування потужних лавин у Карпатах. На масиві Боржава вододільна частина є лавинонебезпечною за будь-яких експозицій через значну розчленованість рельєфу (500–1 000 м) та переважання відкритих полонин (Грищенко та ін., 2014; Грицьків та ін., 2016).

Застосування ГІС-технологій і даних дистанційного зондування Землі відкрило новий етап у картографуванні лавинної небезпеки. М. Біскупіч та І. Барка розробили методику просторового моделювання лавинних виносів, адаптовану для Карпатського регіону (Biskupic & Barka, 2010). А. Ковасніану та ін. продемонстрували ефективність 3D-ГІС-моделювання у національному парку Чехлау (румунські Карпати) (Covasniianu et al., 2011). В Україні Н. З. Грицьків та ін. виконали узагальнене картографування лавинонебезпечних територій Карпат засобами ГІС, проте без прив'язки до конкретного масиву та без розрахунку інтегрального індексу ризику (Грицьків та ін., 2016). М. Настюк та ін. розробили детальну факторно-індексну методику для гірських районів Чернівецької області на основі QGIS Processing/GDAL, яка стала безпосередньою методологічною основою цього дослідження (Настюк та ін., 2023). М. Карабінюк та ін. застосували ГІС-аналіз для Чорногірського масиву, підтвердивши ефективність морфометричного підходу для карпатського середньогір'я (Karabiniuk et al., 2022).

Зміни клімату формують новий зміст лавинної небезпеки. Попри загальноєвропейські тенденції до зниження висоти снігового покриву, у високогір'ї Карпат спостерігається його підвищення взимку та на початку весни (Vyshnevskiy & Donich, 2021). Це сприяє формуванню «мокрих» лавин у вигляді адвекційних відлиг. І. Г. Гаврила та ін. на матеріалі Роднянських гір показали, що коливання лавинної активності корелюють зі змінами зональної циркуляції атмосфери та аномаліями снігонакопичення (Gavrila et al., 2022).

А. Декольн та ін. підтвердили це для Чорногори. Так, дендрохронологічний аналіз виявив багатодесятилітні цикли лавинної активності, які узгоджуються із динамікою домінантних синоптичних типів. Це є важливим контекстом для верифікації сучасних просторових моделей і прогнозування лавинної активності в умовах змін клімату (Decaulne et al., 2023a).

Зростання рекреаційного навантаження на Боржавський масив у поєднанні зі змінами режиму снігонакопичення зумовлює потребу в деталізованій оцінці лавинної небезпеки. Попри наявні регіональні дослідження (Грицьків та ін., 2016; Настюк та ін., 2023), комплексне просторове моделювання лавинного ризику безпосередньо для Боржавського масиву з використанням вільного програмного забезпечення QGIS та мультиплікативного факторного індексу досі не проводилось. Саме це визначає актуальність і наукову новизну пропонованого дослідження.

Метою дослідження є оцінювання та просторове моделювання лавинної небезпеки Боржавського гірського масиву на основі аналізу морфометричних параметрів рельєфу та характеристик підстильної поверхні з використанням геоінформаційних технологій.

Для досягнення поставленої мети було визначено комплекс взаємопов'язаних завдань, що передбачали послідовне виконання дослідження. Насамперед проаналізовано фізико-географічні та ландшафтні особливості Боржавського хребта як чинників лавиноутворення. На цій основі сформовано набір вхідних геопросторових даних, зокрема цифрову модель рельєфу, супутникові знімки та матеріали землекористування. Далі розраховано й класифіковано основні морфометричні показники рельєфу – абсолютну висоту, крутизну (похил), експозицію та перегини (кривизну) поверхні. Окрему увагу приділено оцінюванню впливу шорсткості підстильної поверхні на стабільність снігового покриву. Отримані факторні карти було інтегровано в єдиний індекс лавинної небезпеки, що дало змогу створити підсумкову карту лавинної небезпеки та виконати кількісну оцінку площ її класів.

Територія дослідження

Боржавський хребет є одним із найбільших і добре відомих гірських масивів Полонинського хребта Українських Карпат. Він розташований в межах Закарпатської

області між долинами річок Віча та Ріка та простягається майже на 50 км у північно-східному напрямку. Орографічна будова масиву визначається довгими, відносно вирівняними гребенями та значними за площею полонинами, що формують характерний для Полонинських Карпат ландшафт середньогір'я. Хребет має переважно згладжений профіль і об'єднує низку вершин, серед яких найвищою є г. Стій (1 681 м), а також Великий Верх (1 598 м), Гимба (1 491 м), Ждимир і Плай. Середня ширина масиву становить 3–4 км, проте в окремих ділянках розширюється до 8–10 км. Для Боржави характерна асиметрія схилів. Північні схили є крутими та місцями скелястими, тоді як південні й південно-західні є пологішими і широко використовуються як гірські луки. Масив складений карпатським флішем з переважанням пісковиків і алевролітів, що зумовлює особливості морфології рельєфу, ґрунтоутворення та схилових процесів (Грицьків та ін., 2016).

Кліматичні умови Боржавського хребта характеризуються помірно холодним гірським кліматом із підвищеною кількістю атмосферних опадів, тривалим сніговим покривом і частими сильними вітрами на гребневих ділянках. До висот близько 1 100–1 200 м поширені букові та ялицево-букові ліси, включно з ділянками пралісів, тоді як вище розташовані типові карпатські полонини, вкриті злаково-різнотравною рослинністю та ягідниками, зокрема чорничниками (Грищенко та ін., 2014). Завдяки відкритим гребеням, панорамним краєвидам і розвиненій мережі туристичних маршрутів Боржава є одним із найпопулярніших рекреаційних районів Закарпаття. Територія активно використовується для пішохідного туризму, парапланеризму, зимових видів спорту та екологічного туризму, а зручна транспортна доступність із прилеглих населених пунктів сприяє організації маршрутів різної складності. Саме через велику кількість туристів вивчення лавинної небезпеки цієї території є надзвичайно актуальним, оскільки йдеться про загрозу життю людей.

Матеріал і методи

Методологічну основу дослідження становить факторно-індексний підхід, розроблений М. Настюком та ін. для оцінювання лавинної небезпеки гірських районів Чернівецької області (Настюк та ін., 2023). Відповідно до цього підходу, лавиноутворення розглядається як результат взаємодії морфометричних параметрів рельєфу, мете-

орологічних умов і властивостей підстильної поверхні, а ризик формалізується через зважені коефіцієнти для кожного класу кожного фактора. На відміну від оригінального дослідження Настюка та ін. (2023) (Настюк та ін., 2023), де використовувався плагін *Semi-Automatic Classification Plugin*, у цій роботі весь аналіз виконано у QGIS 3.x із застосуванням модулів GDAL/Processing і SAGA та растрового калькулятора, що забезпечує відтворюваність методики на основі вільного програмного забезпечення. Крім того, на відміну від Н. З. Грицьківа та ін., які картографували лавинонебезпечні території Карпат у загальних рисах, це дослідження сфокусоване на конкретному масиві Боржави з деталізованим просторовим аналізом і мультиплікативним розрахунком інтегрального індексу небезпеки (Грицьків та ін., 2016).

Обробка вихідних даних виконувалася в середовищі ГІС із застосуванням плагіна *Spatial Analysis Toolbox*, що дозволило автоматизувати розрахунок морфометричних параметрів та забезпечити їх просторову узгодженість (таблиця 1).

Обробка геопросторових даних включала побудову факторних растрових шарів, їх класифікацію та подальше комбінування за допомогою растрового калькулятора (*Raster Calculator*). Такий підхід забезпечує відтворюваність методики та можливість її застосування для інших гірських територій.

Цифрова модель рельєфу була приведена до просторової роздільності 15×15 м шляхом ресемплінгу, що дозволило підвищити деталізацію морфометричного аналізу. Усі геодані були уніфіковані та приведені до однакової просторової роздільності.

Просторова оцінка лавинної небезпеки здійснена шляхом інтегрування окремих факторів у єдиний індекс ризику з використанням геоінформаційних технологій.

Отриманий растр інтегрального індексу лавинної небезпеки було нормалізовано та перекласифіковано на кілька класів ризику за допомогою інструментів *Classify Raster* та *Reclassify by Table*. На основі цього побудовано карту просторового розподілу лавинної небезпеки Боржавського гірського масиву.

Результати

Для визначення потенційної лавинної небезпеки та з'ясування закономірностей накопичення снігу здійснено детальний аналіз морфометричних характеристик рельєфу та характеру підстильної поверхні, що впливають на формування лавин. Розглянемо їх детальніше.

Абсолютна висота місцевості розглядається як інтегральний фактор, що опосередковано відображає температурний режим, тривалість залягання снігового покриву та інтенсивність твердих опадів. Зі збільшенням висоти над рівнем моря, як правило, знижується середньорічна температура повітря, зростає частка твердих опадів і подовжується період залягання снігового покриву, що створює передумови для накопичення значних мас снігу та формування лавинонебезпечних умов. Висотна диференціація також впливає на вітровий режим і перерозподіл снігу, що додатково підсилює просторову неоднорідність лавинного ризику. Висотна диференціація є одним із ключових факторів у факторно-індексних моделях лавинної небезпеки (Настюк та ін., 2023), а збільшення кількості твердих опадів з висотою підтверджено спостереженнями за сніговим покривом у Карпатах (Vyshnevskiy & Donich, 2021).

Для кількісного аналізу використано растрові дані абсолютних висот у межах 200–1 600 м, який було класифіковано на 7 класів з інтервалом 200 м. Такий крок класифікації забезпечує достатню деталізацію вертикальної диференціації рельєфу та узгоджується з гіпсометрич-

Таблиця 1

Вихідні дані, використані для оцінювання лавинної небезпеки

Вид даних	Джерело	Просторова роздільність, формат	Призначення в дослідженні
Супутникові знімки	USGS EarthExplorer	GeoTIFF, TIFF	Візуальний аналіз території, базова просторово-інформаційна основа
Цифрова модель рельєфу (ЦМР)	SRTM/ ASTER GDEM	15 × 15 м (вихідна 30 м), WGS-84	Розрахунок морфометричних показників рельєфу
Дані SRTM	USGS	30 м	Побудова растра абсолютних висот та їх класифікація
Багатоспектральні знімки	Landsat	30 м	Аналіз землекористування та оцінювання шорсткості підстильної поверхні

ними особливостями досліджуваної території. Висотам нижче 600 м, де умови для стійкого накопичення снігу є обмеженими, присвоєно нульовий рівень лавинного ризику. Натомість із підвищенням гіпсометричного рівня коефіцієнт небезпеки поступово зростає, досягаючи максимального значення (3) в інтервалі 1 400–1 600 м, де фіксується найбільша тривалість залягання снігового покриву та інтенсивна акумуляція снігових мас.

За результатами класифікації побудовано три узагальнюючі карти висотного ризику лавиноутворення – високого (рис. 1), середнього (рис. 2) та низького (рис. 3) рівнів. Отримані картографічні моделі відображають просторові закономірності зміни лавинної небезпеки залежно від гіпсометричного положення та слугують базовим шаром для подальшої інтеграції з іншими морфометричними й ландшафтними чинниками.

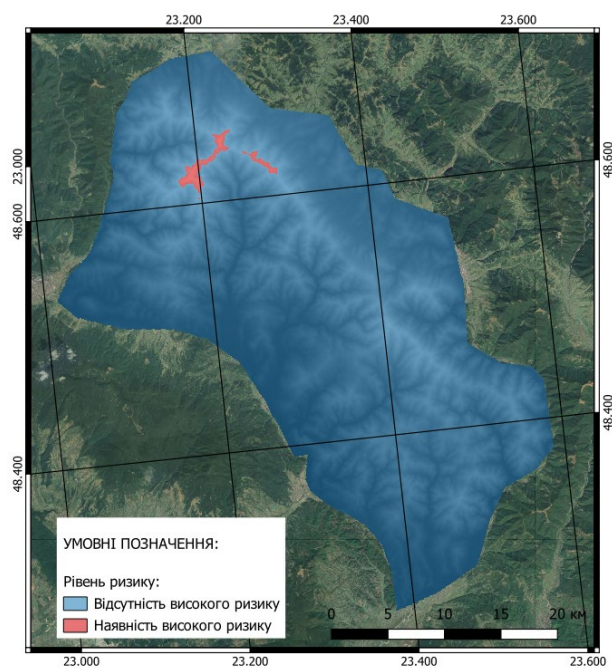


Рис. 1. Ділянки із високим ризиком утворення лавин на території Боржавського масиву

Крутизна схилів є одним із ключових чинників лавиноутворення, оскільки безпосередньо впливає на механічну стійкість снігового покриву та ймовірність його зсуву під дією сили тяжіння. Саме цей морфометричний показник визначає співвідношення між утримувальними силами в товщі снігу та гравітацією, що в комплексі зумовлює ініціацію лавинних процесів. Відомо, що за малих кутів нахилу сніг залишається

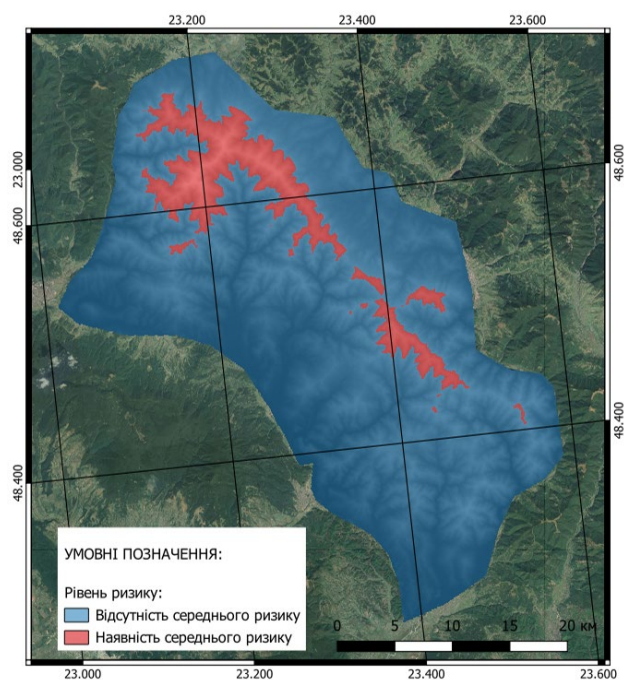


Рис. 2. Ділянки із середнім ризиком утворення лавин на території Боржавського масиву

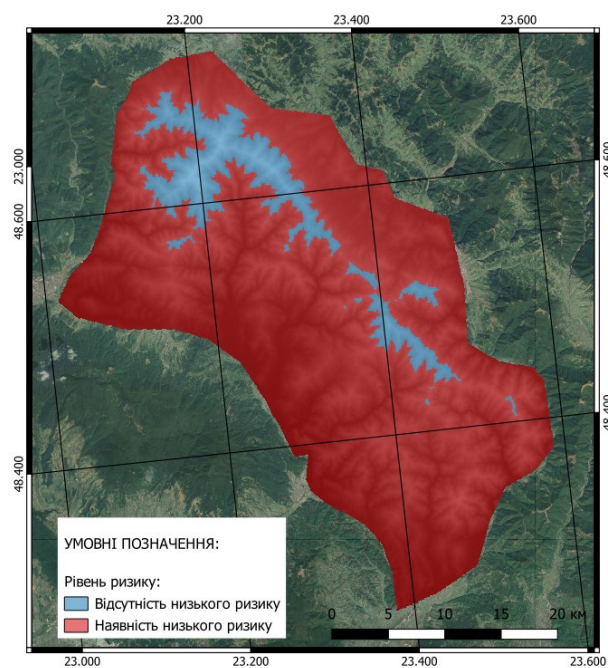


Рис. 3. Ділянки із низьким ризиком утворення лавин на території Боржавського масиву

відносно стабільним, тоді як зі збільшенням крутизни різко зростає ймовірність зриву снігових мас, особливо за наявності «слабких» шарів у товщі снігу (Maggioni & Gruber, 2003; Настюк та ін., 2023).

Для аналізу використано растрові дані похилу в діапазоні 0° – $61,2^{\circ}$, який було класифіковано на 5 класів із кроком 15° . Така градація дала змогу адекватно відобразити зміну лавинної чутливості схилів у межах досліджуваної території та узгодити її із усталеними у лавинознавстві пороговими значеннями. Найбільш лавинонебезпечними визначено схили крутизною 30° – 45° , яким присвоєно максимальний коефіцієнт ризику (3), оскільки саме в цьому інтервалі найчастіше відбувається ініціація снігових лавин через оптимальне поєднання накопичення снігу та дії сили тяжіння.

Помірний рівень небезпеки характерний для схилів крутизною 15° – 30° і 45° – 60° , де умови для сходження лавин є менш сприятливими, але за певних метеорологічних і стратиграфічних умов вони залишаються потенційно небезпечними. Мінімальні значення ризику (1) встановлено для схилів до 15° та понад 60° , що обумовлено відповідно недостатнім гравітаційним навантаженням у першому випадку та обмеженим снігонакопиченням і частими осипами – у другому. Отримана класифікація стала важливою складовою подальшого інтегрального оцінювання лавинної небезпеки території.

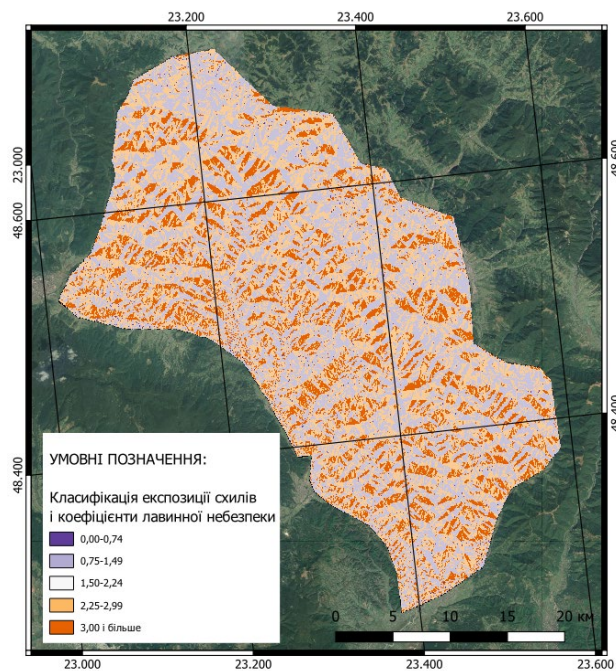


Рис. 4. Класифікація експозиції за коефіцієнтами лавинної небезпеки території Боржавського масиву

Експозиція схилів враховує вплив сонячної радіації, особливості перерозподілу снігу вітром і відмінності в режимі танення сні-

гового покриву (рис. 4). Орієнтація поверхні відносно сторін горизонту визначає енергетичний баланс схилу, ступінь його прогрівання, інтенсивність метаморфізму снігу та умови формування слабких шарів у сніговій товщі. Крім того, експозиція опосередковано відображає вітрову акумуляцію або дефляцію снігу, що є важливим чинником просторової диференціації лавинної небезпеки (Настюк та ін., 2023; Descaulne et al., 2023a).

Для аналізу растр експозиції було класифіковано на 8 румбів і плоскі поверхні, що дало змогу детально відобразити орієнтаційну структуру рельєфу (таблиця 2). Коефіцієнти ризику (від 1 до 3) визначалися з урахуванням переважаючих напрямків вітру, які сприяють перенесенню та накопиченню снігу на підвітряних схилах, а також із урахуванням різної інтенсивності сонячного прогрівання.

Найвищий рівень небезпеки (3 і більше) встановлено для схилів південної експозиції, де частіше формуються нестійкі снігові шари внаслідок активнішого радіаційного прогрівання, повторних циклів підтавання й перемерзання та вітрової акумуляції снігу. Схилам інших експозицій присвоєно нижчі коефіцієнти відповідно до зменшення їхньої лавинної чутливості. Плоскі поверхні віднесені до мінімального рівня ризику через відсутність умов для гравітаційного переміщення снігових мас. Отриманий шар експозиції використано як важливу складову інтегральної моделі лавинної небезпеки.

Перегини (кривизна) схилів в плані та профілі використані для оцінювання локальних умов накопичення або розвантаження снігової маси, оскільки вони відображають дрібні морфологічні особливості поверхні, що впливають на перерозподіл снігу та формування зон напруження у сніговому покриві. Цей показник дає змогу уточнити лавинну чутливість території на рівні дрібних форм рельєфу, які не завжди виявляються за аналізу лише висоти чи крутизни схилів (Biskupic & Barka, 2010; Настюк та ін., 2023). У межах дослідження виділено три типи поверхонь: опуклі, увігнуті та плоскі.

Опуклі форми рельєфу, особливо характерні для пригребневих і вододільних зон, отримали підвищений коефіцієнт ризику (2), оскільки вони пов'язані з формуванням напружених ділянок снігового покриву, активним вітровим перерозподілом і підвищеною ймовірністю ініціації лавинних процесів. Увігнуті та рівні поверхні зага-

Таблиця 2

Класифікація експозиції схилів та коефіцієнти лавинної небезпеки

Експозиція схилу	Діапазон азимутів (°)	Коефіцієнт ризику	Характеристика	Умовне позначення
Плоска поверхня (Flat)	–1	0	Відсутній ухил, снігонакопичення мінімальне	Синій
Північна (North)	337,5–22,5	2	Обмежене сонячне освітлення, можливе тривале збереження снігу	
Північно-східна (NE)	22,5–67,5	1	Помірна інсоляція	
Східна (East)	67,5–112,5	1	Ранкове сонячне освітлення	
Південно-східна (SE)	112,5–157,5	2	Підвищена інсоляція	
Південна (South)	157,5–202,5	3	Максимальне сонячне освітлення, найвищий ризик	Червоний
Південно-західна (SW)	202,5–247,5	2	Інтенсивне післяобіднє прогрівання	
Західна (West)	247,5–292,5	1	Помірна інсоляція	
Північно-західна (NW)	292,5–337,5	1	Обмежене сонячне освітлення	

лом характеризуються відносно стабільнішими умовами та отримали нижчі значення ризику.

Для кривизни в плані (*Plan Curvature*) (рис. 5) застосовано таку класифікацію: значення <0 (увігнута форма) – коефіцієнт ризику 1 (накопичення снігу, зелений колір); $=0$ (плоска поверхня) – коефіцієнт 1; $0 <$ (опукла форма) – коефіцієнт 2 (зони знесення та напруження снігу, червоний колір).

Аналогічний підхід використано для перегинів схилів у профілі (*Profile Curvature*) (рис. 6): значення <0 (увігнута поверхня) – коефіцієнт ризику 1 (зелений); $=0$ (плоска) – коефіцієнт 1; $0 <$ (опукла) – коефіцієнт 2 (червоний). Отримані шари кривизни доповнюють морфометричну характеристику території і підвищують точність інтегрального оцінювання лавинної небезпеки.

Шорсткість підстильної поверхні (*тип земного покриву*) є важливим чинником, що визначає ступінь механічного закріплення снігового покриву та його стійкість до зсуву. Вона відображає характер земного покриву, наявність рослинності, мікронерівностей і скельних виступів, які можуть як стабілізувати сніговий покрив, так і сприяти його перерозподілу. З метою кількісної оцінки шорсткості виконано аналіз типів земного покриву за супутниковими знімками *Landsat*, що дало змогу об'єктивно виділити однорідні типи підстильної поверхні (Настюк та ін., 2023; Gavrila et al., 2022).

Отримані класи було узагальнено і перекласифіковано у чотири категорії лавинної небезпеки відповідно до їх здатності утриму-

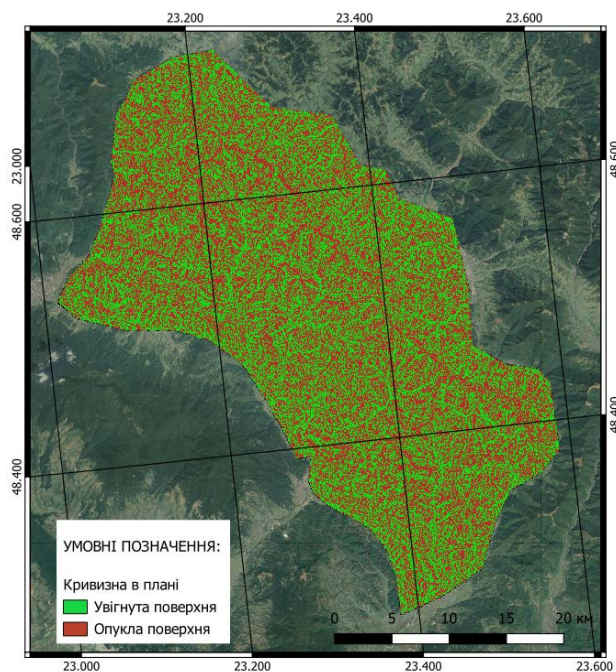


Рис. 5. Перегини (кривизна) схилів у плані на території Боржавського масиву

вати сніговий покрив. Максимальний коефіцієнт ризику (3) присвоєно безлісним територіям – полонинам, пасовищам і скельним ділянкам, де відсутність щільного рослинного покриву зменшує шорсткість і сприяє мобільності снігових мас. Лісові та чагарникові угіддя отримали нижчі значення ризику через їхню стабілізуючу роль.

Інтегральний лавинний ризик (РА) визначався шляхом комбінування окремих факторів у середовищі растровий кальку-

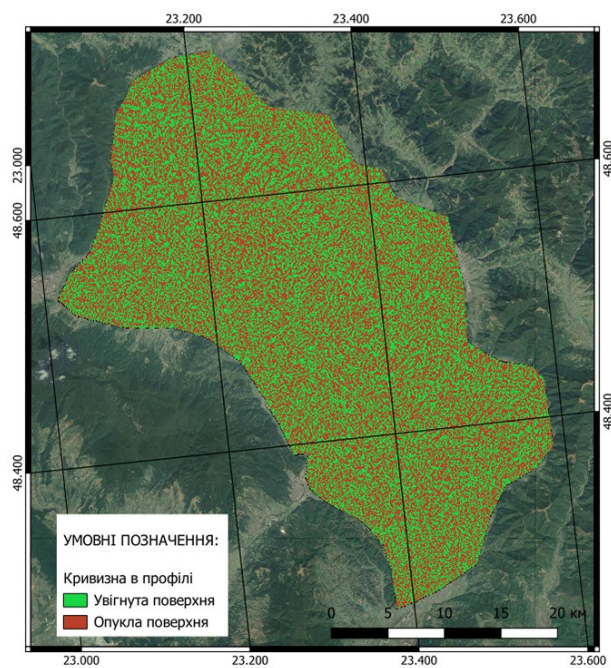


Рис. 6. Перегини (кривизна) схилів у профілі на території Боржавського масиву

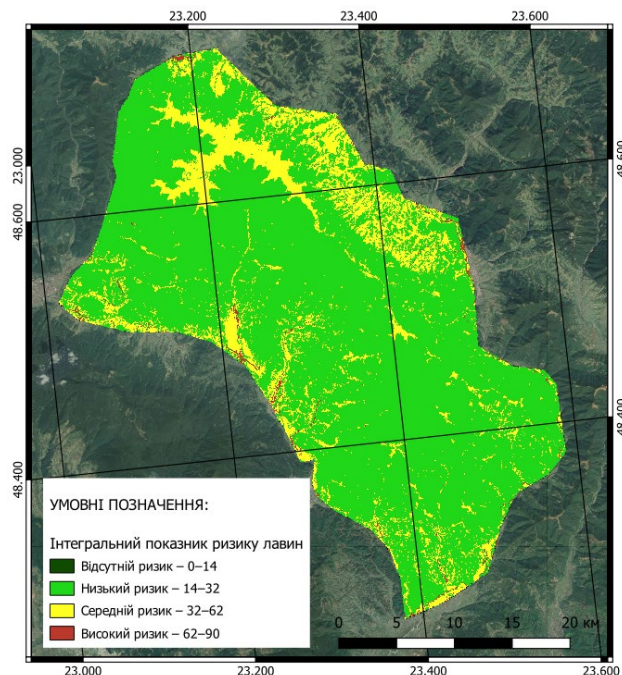


Рис. 7. Інтегральний показник лавинної небезпеки

лятор QGIS за формулою, адаптованою з методики М. Настюка та ін., формула (1) (Настюк та ін., 2023):

$$РЛ = (РВ + РО + РКПЛ) \times РШ \times РП, \quad (1)$$

де РВ – ризик класу небезпеки висоти місцевості; РО – ризик класу небезпеки експозиції схилів; РКПЛ – ризик класу небезпеки кривизни в плані; РШ – ризик класу небезпеки шорсткості поверхні; РП – ризик класу небезпеки похилу схилів.

Запропонована формула дозволяє врахувати домінуючу роль морфометричних параметрів рельєфу, оскільки їх сумарний внесок підсилюється мультиплікативним впливом факторів шорсткості та крутизни, що безпосередньо пов'язані з механізмом сходження лавин.

Отримане растрове зображення інтегрального лавинного ризику було перекласифіковано за допомогою інструментів *Classify Raster* та *Reclassify by Table* на чотири класи відносної лавинної небезпеки (рис. 7). Інтервали класифікації встановлено у такий спосіб: відсутній ризик – 0–14 (зелений колір); низький – 14–32; середній – 32–62; високий – 62–90 (червоний колір). Побудована карта інтегрального ризику відображає просторову диференціацію лавинної небезпеки та може бути використана для подальшого геоінформаційного аналізу й практичних заходів з управління природними ризиками.

На основі розробленої методики просторового аналізу створено підсумкову карту лавинної небезпеки Боржавського гірського масиву (рис. 8). Картографування виконано шляхом інтеграції раніше побудованих факторних карт, які відображають ключові морфометричні та ландшафтні передумови формування снігових лавин у межах середньогірських територій Українських Карпат. До узагальнення залучено показники висоти місцевості, крутизни та експозиції схилів, перегинів (кривизни) поверхні та шорсткості підстильної поверхні, що у сукупності формують просторову структуру лавинної небезпеки.

Об'єднання факторів здійснювалося в середовищі ГІС із використанням інструменту *Raster Calculator*, що забезпечило автоматизоване поелементне комбінування вхідних шарів і отримання інтегрального показника лавинної небезпеки для кожної комірки растра. Такий підхід дозволив врахувати як адитивний внесок морфометричних параметрів, так і підсилювальну роль факторів, безпосередньо пов'язаних зі стійкістю снігового покриву.

Отримані значення інтегрального індексу було нормалізовано та перекласифіковано у три класи відносної лавинної небезпеки: 0 – низький рівень, 1 – середній рівень та 2 – високий рівень небезпеки (таблиця 3). Запропонована градація забезпечує наоч-

ність інтерпретації результатів і придатна для практичного використання в задачах просторового планування, природоохоронного менеджменту та моніторингу георизиків. Побудована карта чітко відображає просторову диференціацію лавинного ризику та дає змогу виділити найбільш потенційно небезпечні ділянки Боржавського масиву для подальшого детального аналізу і польової верифікації.

Таблиця 3
Площі класів лавинної небезпеки
в межах Боржавського масиву

Клас лавинної небезпеки	Площа, км ²	Частка території, %
Відсутній	220	61
Низький	85	24
Середній	40	11
Високий	15	4

Карта рівня лавинної небезпеки демонструє чітко виражений просторовий зв'язок між підвищеними значеннями ризику та морфометричними особливостями рельєфу. Найвищі рівні лавинної небезпеки притаманні ділянкам із значними абсолютними висотами, підвищеною крутизною схилів, переважно південною експозицією та низькою шорсткістю підстильної поверхні. Таке поєднання чинників створює найсприятливіші умови для накопичення нестійких снігових мас і їх подальшого гравітаційного переміщення. Просторово ці зони тяжіють до пригребневих ділянок і відкритих полонин Боржавського масиву, де активно проявляються процеси вітрового перерозподілу снігу та формування потенційно нестійких шарів. Виявлені просторові паттерни узгоджуються з результатами досліджень для суміжних масивів Карпат (Rudyi et al., 2020; Настюк та ін., 2023).

Ділянки з відсутнім або низьким рівнем лавинної небезпеки домінують у нижніх частинах схилів, на пологих формах рельєфу і в межах лісових масивів. Тут, завдяки меншій крутизні, вищій шорсткості підстильної поверхні та стабілізуювальній ролі деревної рослинності забезпечується більша стійкість снігового покриву і, відповідно, нижча ймовірність сходження лавин. Виявлені просторові закономірності загалом узгоджуються з сучасними уявленнями про морфометричну зумовленість лавинних процесів у середньогір'ї Українських Карпат і підтверджують коректність застосованої методики ГІС-моделювання. Стабілізуючу

роль лісового покриву як чинника зниження лавинного ризику підтверджено і для Роднянських гір (Gavrilă et al., 2022).

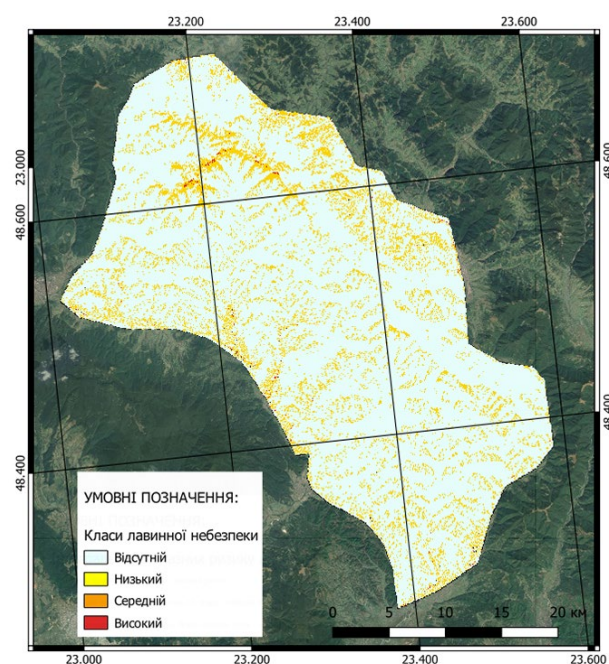


Рис. 8. Рівень лавинної небезпеки
Боржавського гірського масиву

Обговорення

Геопросторова оцінка лавинної небезпеки регіону підтверджує домінування безпечних і малонебезпечних територій, тоді як ділянки з високим ризиком займають незначну частку масиву. За результатами розрахунків, площа територій з високою лавинною небезпекою становить 15 км², що відповідає 4 % загальної площі масиву Боржава.

Просторовий аналіз розподілу небезпечних ділянок засвідчив їхню концентрацію у високогірній частині хребта на висотах понад 1 400 м, де у рельєфі поєднуються значна крутизна схилів і відкриті форми поверхні. Схили з крутизною 30–45° виявилися найбільш лавиноактивними, оскільки саме в цьому діапазоні сніговий покрив набуває нестійкого стану під дією сили тяжіння та механічного перевантаження. Аналогічні висотні та морфометричні закономірності встановлено для Чорногірського масиву (Decaulne et al., 2023a), де лавинна активність також зосереджена у пригребневих зонах із відкритими схилами. Порівняння результатів підтверджує, що виявлені просторові патерни є типовими для Східних Карпат загалом.

Для схилів південної експозиції підвищена лавинна небезпека пов'язана з інтенсивнішим прогріванням, що спричиняє утворення у сніговій товщі нестійких талих прошарків. До того ж опуклі форми, типові для пригребених зон, сприяють накопиченню надлишкових об'ємів снігу та запуску сходжень лавин. Ці закономірності узгоджуються з результатами дендрохронологічних досліджень у Роднянських горах, де І. Г. Гаврила та ін. показали, що більшість задокументованих лавинних подій пов'язана з адвекційними відлигами після інтенсивних снігонакопичень (Gavrila et al., 2022). Такий сценарій характерний і для відкритих схилів південних експозицій Боржавського хребта. А. Декольн та ін. додатково підтвердили, що синоптичні типи із зональним перенесенням є тригерами найпотужніших лавинних подій у Чорногорі, що є суміжним масивом Українських Карпат (Decaulne et al., 2023b).

Важливим елементом зниження лавинного ризику є збереження та відновлення лісового покриву, який виконує функцію природного стабілізатора рельєфу, зменшуючи швидкість вітру та інтенсивність перерозподілу снігу. Перспективним напрямом є створення системи раннього попередження на основі інтеграції геоморфологічних, метеорологічних і сніголавинних спостережень у ГІС-середовищі. Доповнення таких заходів інформаційно-просвітницькою роботою і відповідною підготовкою рятувальних служб сприятиме підвищенню загального рівня безпеки та формуванню збалансованої системи природокористування в межах Боржавського гірського масиву.

Висновки

У результаті проведеного дослідження виконано комплексну оцінку лавинної небезпеки Боржавського гірського масиву з використанням методів геоінформаційного аналізу та даних дистанційного зон-

дування Землі. Методика ґрунтується на поєднанні ключових морфометричних параметрів рельєфу (абсолютної висоти, крутизни, експозиції та перегинів схилів) із характеристиками шорсткості підстильної поверхні, що дозволило відобразити просторову диференціацію лавинного ризику.

Встановлено, що найбільш лавинонебезпечні ділянки приурочені до пригребених зон Боржавського хребта на висотах понад 1 400 м, де поєднуються круті схили (30–45°), південної експозиції та відсутністю лісового покриву. Саме такі умови сприяють формуванню нестійких снігових нашарувань і підвищеному ризику сходження лавин. Території з низьким або відсутнім рівнем лавинної небезпеки переважають у нижніх частинах схилів і в межах лісистих ділянок, що зумовлено тут вищою стабільністю снігового покриву.

Встановлено, що зони високої лавинної небезпеки займають приблизно 15 км², або 4 % площі масиву, тоді як безпечні та мало-небезпечні території становлять понад 80 %. Геопросторові результати підтверджують доцільність використання ГІС-моделювання для попереднього лавинного районування середньогірських територій Українських Карпат.

Отримані результати можуть бути використані для розроблення практичних рекомендацій щодо раціонального та безпечного використання території масиву Боржава. Передусім доцільним є обмеження будівництва та розміщення стаціонарних туристичних, транспортних і інженерних об'єктів в зонах середньої та високої лавинної небезпеки. В умовах активної рекреаційної експлуатації масиву, особливо у зимовий період, необхідним є коригування туристичних маршрутів і обмеження доступу до небезпечних ділянок у періоди нестійкого стану снігового покриву.

Список використаної літератури

- Біланюк В., Тиханович Є. Лавинні процеси в Українських Карпатах. *Journal of Education, Health and Sport*. 2015. Vol. 5, no. 7. P. 96–104. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.19307>
- Грицьків Н. З., Лайкун А. Ю., Бабій А. В. Картографування лавинонебезпечних територій з використанням ГІС-технологій. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2016. Вип. 84. С. 44–55. <https://doi.org/10.23939/istcgscap2016.02.044>
- Грищенко В. Ф., Михайлов В. А., Рудий Р. М., Стадниченко С. М., Яковлев Є. О. Кадастр снігових лавин України. Київ : Укр. гідрометеорол. ін-т, 2014. 238 с.
- Настюк М., Косован В., Катринін О. Побудова карт ризиків лавинної небезпеки за допомогою ArcGIS на основі геоморфологічного аналізу для гірських районів Чернівецької області. *Науковий вісник Чернівецького університету : Географія*. 2023. Вип. 845. С. 101–109. <https://doi.org/10.31861/geo.2023.845.101-109>

- Biskupic M., Barka I. Spatial modelling of snow avalanche runouts using GIS. *Proceedings of the 22nd Congress of the Czech Geographical Society*. Ostrava, 2010. P. 8–19.
- Covăsnianu A., Grigoras I. R., State L. I., Balin D., Hogas S., Balin I. Mapping snow avalanche risk using GIS technique and 3D modeling: Case study Ceahlău National Park. *Romanian Journal of Physics*. 2011. Vol. 56, nos. 3–4. P. 476–483. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1884082>
- Decaulne A., Bhattarai S., Saemundsson P., Croke J. Snow-avalanche frequency in the Chornohora Mountains (Ukrainian Carpathians) – A multi-century perspective from tree rings and historical data. *Catena*. 2023a. Vol. 232. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107388>
- Decaulne A., Rachita I., Kholiavchuk D., Pop O., Holobaca I. H., Ridush O., Ridush B., Horvath C. Patterns of snow avalanche activity during the last century in Chornohora Range (Eastern Carpathians, Ukraine): tree-ring reconstruction coupled with synoptic conditions analysis. *Catena*. 2023b. Vol. 233. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107523>
- Gavrila I. G., Kholiavchuk D., Holobaca I. H., Ridush O., Horvath C., Ridush B., Pop O. T. Tree-ring records of snow-avalanche activity in the Rodna Mountains (Eastern Carpathians, Romania). *Natural Hazards*. 2022. Vol. 114, no. 2. P. 2041–2057. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05458-w>
- Jamieson B., Stethem C. Snow avalanche hazard and management in Canada: challenges and progress. *Natural Hazards*. 2002. Vol. 26. P. 35–53. <https://doi.org/10.1023/A:1015212626232>
- Karabiniuk M., Hostiuk Z., Burianyk O., Leta V., Terletska Ya. Mapping and geoinformation analysis of snow avalanche processes in geocomplexes of the subalpine and alpine highlands of the Chornohora (Ukrainian Carpathians). *International Conference of Young Professionals GeoTerrace-2022*. Lviv, 2022. P. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590019>
- Maggioni M., Gruber U. The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency. *Cold Regions Science and Technology*. 2003. Vol. 37, no. 3. P. 407–419. [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(03\)00080-6](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(03)00080-6)
- McClung D., Schaerer P. *The Avalanche Handbook*. Seattle : The Mountaineers, 1993. 342 p.
- Rudyi R. M., Kyselov Yu. O., Domashenko H. T., Kravets O. Ya., Husar K. D. Analysis of mountain relief for the causes of snow avalanches. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2020. Vol. 29, no. 4. P. 789–795. <https://doi.org/10.15421/112071>
- Vyshnevskiy V. I., Donich O. A. Snow cover in the Ukrainian Carpathians. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2021. Vol. 22, no. 2. P. 284–293. <https://doi.org/10.31577/ahs-2021-0022.02.0032>

References

- Bilaniuk, V., & Tikhanovich, I. (2015). Lavynni protsesy v Ukrainykykh Karpatakh [Avalanche processes in the Ukrainian Carpathians]. *Journal of Education, Health and Sport*, 5(7), 96–104. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.19307> [in Ukrainian]
- Hrytskiv, N. Z., Laikun, L. Yu., & Babii, L. V. (2016). Kartohrafuvannia lavinnonebezpechnykh terytorii z vykorystanniam HIS-tekhnologii [Mapping avalanche-prone areas using GIS technologies]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva, [Modern achievements of geodetic science and production]*, (84), 44–55. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2016.02.044> [in Ukrainian]
- Hryshchenko, V. F., Mykhailov, V. A., Rudyi, R. M., Stadnychenko, S. M., & Yakovlev, Ye. O. (2014). Kadastr snihovykh lavyn Ukrainy [Cadastre of snow avalanches of Ukraine]. *Ukrainskyi hidrometeorologichnyi instytut*. [in Ukrainian]
- Nastiuk, M., Kosovan, V., & Katrynin, O. (2023). Pobudova kart ryzykiv lavynnoi nebezpeky za dopomohoiu ArcGIS na osnovi heomorfolohichnoho analizu dlia hirsykh raioniv Chernivetskoii oblasti [Mapping avalanche risk using ArcGIS based on geomorphological analysis for mountainous areas of Chernivtsi region]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu : Heohrafiia, [Scientific Herald of Chernivtsi University : Geography]*, (845), 101–109. <https://doi.org/10.31861/geo.2023.845.101-109> [in Ukrainian]
- Biskupic, M., & Barka, I. (2010). Spatial modelling of snow avalanche runouts using GIS. In *Proceedings of the 22nd Congress of the Czech Geographical Society* (pp. 8–19). Ostrava. [in English]
- Covăsnianu, A., Grigoras, I. R., State, L. I., Balin, D., Hogas, S., Balin, I. (2011). Mapping snow avalanche risk using GIS technique and 3D modeling: Case study Ceahlău National Park. *Romanian Journal of Physics*, 56(3–4), 476–483. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1884082> [in English]
- Decaulne, A., Bhattarai, S., Saemundsson, P., & Croke, J. (2023a). Snow-avalanche frequency in the Chornohora Mountains (Ukrainian Carpathians) – A multi-century perspective from tree rings and historical data. *Catena*, (232), 107388. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107388> [in English]

Decaulne, A., Răchită, I., Kholiavchuk, D., Pop, O., Holobacă, I. H., Ridush, O., Ridush, B., & Horváth, C. (2023b). Patterns of snow avalanche activity during the last century in Chornohora Range (Eastern Carpathians, Ukraine): Tree-ring reconstruction coupled with synoptic conditions analysis. *Catena*, (233), 107523. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107523> [in English]

Gavrilă, I. G., Kholiavchuk, D., Holobacă, I. H., Ridush, O., Horváth, C., Ridush, B., & Pop, O. T. (2022). Tree-ring records of snow-avalanche activity in the Rodna Mountains (Eastern Carpathians, Romania). *Natural Hazards*, 114(2), 2041–2057. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05458-w> [in English]

Jamieson, B., & Stethem, C. (2002). Snow avalanche hazard and management in Canada: Challenges and progress. *Natural Hazards*, (26), 35–53. <https://doi.org/10.1023/A:1015212626232> [in English]

Karabiniuk, M., Hostiuk, Z., Burianyk, O., Leta, V., & Terletska, Ya. (2022). Mapping and geoinformation analysis of snow avalanche processes in geocomplexes of the subalpine and alpine highlands of the Chornohora (Ukrainian Carpathians). In *International Conference of Young Professionals GeoTerrace-2022* (pp. 1–5). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590019> [in English]

Maggioni, M., & Gruber, U. (2003). The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency. *Cold Regions Science and Technology*, 37(3), 407–419. [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(03\)00080-6](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(03)00080-6) [in English]

McClung, D., & Schaerer, P. (1993). *The Avalanche Handbook. The Mountaineers*. [in English]

Rudyi, R. M., Kyselov, Yu. O., Domashenko, H. T., Kravets, O. Ya., & Husar, K. D. (2020). Analysis of mountain relief for the causes of snow avalanches. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(4), 789–795. <https://doi.org/10.15421/112071> [in English]

Vyshnevskiy, V. I., & Donich, O. A. (2021). Snow cover in the Ukrainian Carpathians. *Acta Hydrologica Slovaca*, 22(2), 284–293. <https://doi.org/10.31577/ahs-2021-0022.02.0032> [in English]

Дата першого надходження статті до видання: 09.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



УДК 551.556(477.82)(091) "2001/2024"
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.11>

ВІТРОВИЙ РЕЖИМ НА МЕТЕОСТАНЦІЇ ЛУЦЬК У 2001–2024 РР.

Т. С. Павловська¹, В. Ю. Стельмах², С. П. Бондарчук³, В. І. Климюк⁴

У статті відображено результати дослідження вітрового режиму на метеостанції Луцьк упродовж першої чверті XXI століття. На основі даних строкових метеорологічних спостережень побудовано й охарактеризовано розу вітрів, визначено середні багаторічні значення середньої швидкості вітру, максимальної швидкості вітру, повторюваності штилів, кількості днів із швидкостями вітру ≥ 10 м/с та ≥ 15 м/с. Також проаналізовано типовий річний розподіл зазначених показників та тенденції їх змін упродовж 2001–2024 рр. На основі порівняння роз вітрів у XXI ст. і в другій половині XX ст. виявлено зміни конфігурації вітрового режиму, проте роль вітрів західного напрямку залишається домінуючою (18–19%). Середня швидкість вітру в Луцьку за досліджуваний період становить 2,7 м/с, середня місячна швидкість максимального пориву вітру складає 15,8 м/с, найбільше значення максимальної швидкості вітру – 25 м/с, повторюваність штилів – 26,1 %, у середньому за рік налічується 127,5 днів зі швидкістю вітру ≥ 10 м/с і 15,7 днів зі швидкістю вітру ≥ 15 м/с. Встановлено, що на фоні незначного зменшення річних значень середньої швидкості вітру спостерігаються статистично значуще зростання максимальної швидкості вітру, кількості днів із швидкостями вітру ≥ 10 м/с та ≥ 15 м/с, а також статистично значуще зменшення повторюваності штилів. Крім того, простежено динамку змін досліджуваних показників у розрізі місяців. Переважно статистично значущі тенденції змін вітрового режиму характерні для квітня та липня. Серед усіх місяців року сильні вітри найчастіше спостерігаються в березні та квітні, тоді як маловітряна погода зазвичай панує в серпні та вересні. Отримані результати здійсненого локального дослідження відповідають регіональним закономірностям трансформації вітрового режиму в умовах сучасних кліматичних змін.

Ключові слова: вітер, кліматичні зміни, лінійний тренд, метеостанція Луцьк, повторюваність штилів, роза вітрів, максимальна швидкість вітру, порив вітру.

¹ кандидат географічних наук, доцент кафедри фізичної географії
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
e-mail: pavlovskas2011@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4931-0803

² кандидат географічних наук, доцент кафедри фізичної географії
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
e-mail: stelmakh.valia@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7106-4242

³ кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології
(Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)
e-mail: s_bondarchuk@ukr.net
ORCID: 0000-0003-2787-1722

⁴ завідувач сектору метеорологічних прогнозів
(Волинський обласний центр з гідрометеорології, м. Луцьк)
e-mail: sinopticlutsk@gmail.com
ORCID: 0009-0001-5713-7054

WIND REGIME AT LUTSK METEOROLOGICAL STATION DURING 2001–2024

T. S. Pavlovska, V. Yu. Stelmakh, S. P. Bondarchuk, V. I. Klymiuk

The article presents the results of a study on the wind regime at the Lutsk meteorological station during the first quarter of the 21st century. Based on fixed-time meteorological observation data, a wind rose was constructed and characterized; mean long-term values of mean wind speed, maximum wind speed, calm frequency, and the number of days with wind speeds ≥ 10 m/s and ≥ 15 m/s were determined. The typical annual distribution of the aforementioned parameters and the trends in their changes over the period 2001–2024 were also analyzed. A comparison of wind roses from the 21st century and the second half of the 20th century revealed changes in the wind regime configuration; however, westerly winds remain dominant (18–19%). The mean wind speed in Lutsk during the study period was 2.7 m/s, the mean monthly maximum wind gust speed was 15.8 m/s, the highest recorded maximum wind speed was 25 m/s, and calm frequency was 26.1%. On average, 127.5 days per year had wind speeds ≥ 10 m/s and 15.7 days had wind speeds ≥ 15 m/s. Against a background of a slight decrease in annual mean wind speed values, statistically significant increases were found in maximum wind speed, the number of days with wind speeds ≥ 10 m/s and ≥ 15 m/s, as well as a statistically significant decrease in calm frequency.

In addition, the month-by-month dynamics of changes in the studied parameters were examined. Statistically significant trends in wind regime changes were found predominantly in April and July. Among all months of the year, strong winds occur most frequently in March and April, while low-wind conditions typically prevail in August and September. The results of this local study are consistent with the regional patterns of wind regime transformation under current climate change conditions.

Key words: wind, climate change, linear trend, Lutsk meteorological station, calm frequency, wind rose, maximum wind speed, wind gust.

Вступ

Вітровий режим є одним із ключових показників кліматичної системи, оскільки швидкість і напрямок вітру є інтегральними характеристиками атмосферної циркуляції та чутливими індикаторами кліматичних змін. За даними міжнародних досліджень, упродовж останніх десятиліть у багатьох регіонах світу зафіксовано суттєві зміни приземної швидкості вітру (McVicar et al., 2012) та спостерігається тенденція до зростання частоти, тривалості й інтенсивності стихійних метеорологічних явищ, в тому числі й сильних штормів (Решетченко, 2013). Задля успішного прогнозування екстремальних погодних явищ та попередження їхніх наслідків надзвичайно важливим є вивчення особливостей вітрового режиму та синоптичних характеристик певної території (Івус та ін., 2016). Разом із тим, сучасні наукові публікації вказують на значні регіональні відмінності в тенденціях змін напрямків і швидкості вітру, що зумовлює необхідність локальних досліджень (Zeng et al., 2019).

Значну роль у формуванні локальних тенденцій вітрового режиму відіграють зміни підстильної поверхні та урбанізація, оскільки вони впливають на шорсткість території й характеристики повітряних потоків (Vautard et al., 2010). Інформація про характер вітрового режиму на урбанізованих територіях важлива при роз-

робці генеральних планів міст, плануванні мікрорайонів, будівництві господарських об'єктів, у тім числі й об'єктів альтернативної електроенергетики, зокрема вітрової (Федонюк та ін., 2024) тощо. Крім того, вітер, як відомо, є ключовим чинником розсіювання та переносу забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери (Jacob, 1999), що визначає екологічну цінність досліджень вітрового режиму. Циркуляцією атмосфери, напрямками основних вітрів пояснюються також особливості морфології еолових форм рельєфу. Вітер також є чинником електризації, що має вплив на ризик утворення електричних розрядів і на процес відкладення пиловатих фацій (лесово-ґрунтових товщ, пилових фацій пустель тощо) та акумуляції еолових форм рельєфу (Веклич, 2018). Від діаграми вітрів та інтенсивності останніх залежить також швидкість переміщення піщаних форм та розвиток інших геоморфологічних процесів (гравітаційних, абразійних та ін.).

Прояви кліматичних змін сьогодні чітко простежуються не тільки на глобальному рівні, а й на локальному, зокрема і в місті Луцьку. Притаманний для досліджуваної території помірно-континентальний клімат, що формується під впливом атлантичних повітряних мас, зазнає значних трансформацій, зумовлених в тому числі й змінами характеру атмосферної циркуляції над Євразією й Атлантикою (Fedoniuk et al., 2024).

Так, за даними спостережень на метеостанції Луцьк у ХХІ столітті встановлено статистично значуще зростання температури повітря (Павловська та ін., 2023), зменшення відносної вологості повітря (Павловська і Стельмах, 2024; Павловська та ін., 2025), зміни режиму випадання опадів (Павловська та ін., 2024а; Павловська та ін., 2024б) та хмарності (Стельмах та ін., 2025). Виявлені тенденції безпосередньо пов'язані зі змінами характеру атмосферної циркуляції і, відповідно, вітрового режиму, дослідження якого є логічним продовженням комплексного вивчення кліматичних змін у Луцьку (Павловська та ін., 2020; Fedoniuk et al., 2024).

Аналіз наукової літератури засвідчує наявність значної кількості праць, присвячених дослідженню вітровому режиму. Серед міжнародних досліджень значна увага приділяється вивченню довготривалих змін приземної швидкості вітру, яким присвячені публікації Т. Р. МакВікар, Р. Ван, К. Доннеллі, А. Т. Лі, Г. Д. Пікетт (McVicar et al., 2012), К. Денг, З. Лі, Ч. Чжу, Дж. Ву, Х. Чен (Deng et al., 2021). У роботах З. Зенг, Ю. Занг, Ю. Янг, А. Дай, Д. Луо, Н. Чжао (Zeng et al., 2019) встановлено виражену регіональну неоднорідність тенденцій вітру. Т. К. Лауріла, Дж. Пікап, Н. Е. Девідсон, Р. МакГрат (Laurila et al., 2021) проаналізували сучасну кліматологію приземного вітру над суходолом, відобразивши значні сезонні коливання його характеристик. У працях таких науковців як Й. Воланд, Я. Омрер, Г. Хершбах (Wohland et al., 2021) доведено, що значна роль у формуванні сучасних трендів вітрового режиму належить внутрішній кліматичній мінливості атмосфери. Разом із тим, частина досліджень акцентує увагу і на впливі антропогенних чинників на вітровий режим. Зокрема, у працях Р. Вотар, Ж. Каттьо, П. Йю, Ж.-Н. Тепо, П. Сіє (Vautard et al., 2010) проаналізовано вплив землекористування на зміни характеристик приземного вітру.

У дослідженнях українських науковців вітровий режим розглядається переважно у контексті комплексного вивчення клімату та аналізується у взаємозв'язку з температурним режимом, опадами та загальною циркуляцією атмосфери (Ліпінський та ін., 2003; Кульбіда та ін., 2013). Вплив зміни клімату на вітровий режим України в цілому розглянуто в праці С. О. Фоменко (Фоменко, 2024). Регіональні дослідження вітрового режиму проводились у різних частинах

України: на Харківщині – С. І. Решетченко (Решетченко, 2013), на Тернопільщині – В. І. Осадчий, О. Я. Скриник, Д. О. Ошурок, О. А. Скриник (Осадчий та ін., 2017), у Північному Причорномор'ї – Г. П. Івус, А. Б. Агайар, А. М. Семергей-Чумаченко, А. М. Гурська (Івус та ін., 2015), на Західному Поліссі – С. І. Максимцева (Максимцев, 2019) тощо.

Дослідження вітрового режиму Волинської області та м. Луцька представлені працями Т. С. Павловської, В. І. Климюка, Ю. В. Білецького, Р. М. Геналюка (Павловська та ін., 2020), які проаналізували основні характеристики вітру на метеостанції Луцьк за 2001–2018 рр., В. В. Федонюк, С. Г. Панькевича, М. А. Федонюка, котрі дослідили вітроенергетичний потенціал міста (Федонюк та ін., 2024а) та розглянули динаміку вітрового режиму Луцька у контексті регіональних кліматичних змін (Fedoniuk et al., 2024б). Однак, попри зростаючий інтерес до вивчення вітрового режиму обласного центру сучасної Волині, його комплексний аналіз впродовж першої чверті ХХІ століття залишається актуальним науковим завданням.

Метою нашого дослідження є вивчення вітрового режиму у м. Луцьку на початку ХХІ ст. (2001–2024 рр.) за даними строкових спостережень на однойменній метеостанції. Для досягнення поставленої мети нами вирішувалися такі завдання: 1) визначити повторюваність напрямків вітру упродовж зазначеного періоду й побудувати розу вітрів для метеостанції Луцьк; 2) визначити повторюваність штилів (щомісяця та щороку) упродовж 2001–2024 рр.; 3) визначити середні місячні та середні річні значення швидкості вітру на метеостанції за вказаний проміжок часу; 4) визначити середнє й найбільше за рік значення максимальної швидкості вітру та середні за багаторічний період місячні значення максимальної швидкості вітру на метеостанції; 5) визначити середнє за багаторічний період значення кількості днів зі швидкостями вітру ≥ 10 м/с та ≥ 15 м/с, а також середні за багаторічний період щомісячні значення показника; 6) з'ясувати тенденції змін аналізованих показників упродовж 2001–2024 рр. та їх типовий річний розподіл; 7) проаналізувати зміни вітрового режиму на метеостанції Луцьк впродовж 2001–2024 рр.; 8) визначити перспективи досліджень вітрового режиму на метеостанції Луцьк.

Матеріали і методи

Інформаційною базою дослідження слугували фондові матеріали Волинського обласного центру з гідрометеорології (строкові дані щодо швидкості та напрямку вітру на висоті флюгера (~10 м над поверхнею землі), які отримано на метеостанції Луцьк). Застосовано математико-статистичний, графічний, порівняльний методи, а також методи аналізу, синтезу, індукції, дедукції, аналогії. За допомогою програми MS Excel побудовано графіки багаторічної динаміки та річного ходу показників вітрового режиму на досліджуваній метеостанції. Для часових рядів застосовано статистичний аналіз лінійних трендів, що дозволило оцінити напрям і інтенсивність змін досліджуваних характеристик. Оцінювання статистичної значущості лінійних трендів виконувалося за формулою (Звіт ..., 2013).

Результати

Проаналізувавши дані строкових спостережень на метеостанції Луцьк упродовж 2001–2024 рр., ми з'ясували, що в обласному центрі на початку XXI ст. переважають західні вітри (18 %). Близькі за значенням повторюваності також східні (15,2 %), південно-західні (14,9 %), північно-західні (14,8 %) вітри. Найменшу повторюваність мають вітри північного (6,7 %), північно-східного (8,0 %) та південного (8,7 %) напрямків (рис. 1).

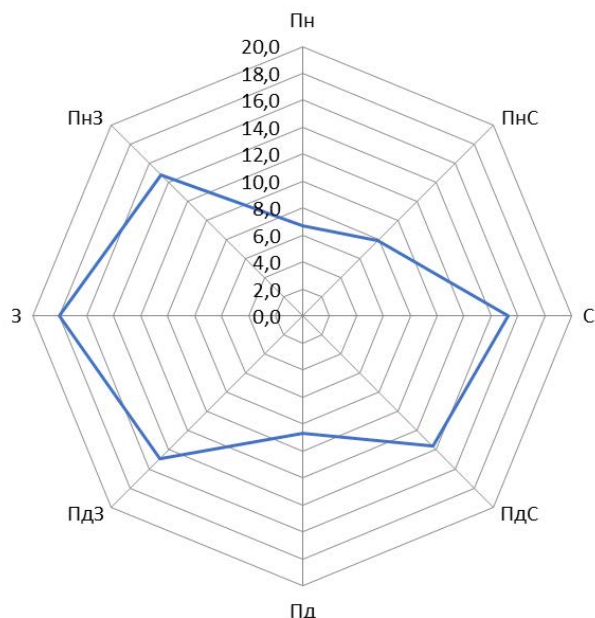


Рис. 1. Повторюваність напрямків вітру в м. Луцьк за період 2001–2024 рр.

Середня багаторічна (2001–2024 рр.) швидкість вітру в Луцьку складає 2,7 м/с

(це дещо менше за норму 1990–2020 рр., яка становить 3,3 м/с). Зауважимо, що для обрахунків цього показника використовувалися дані строкових спостережень без урахування випадків з максимальними поривами вітру.

У XXI ст. середня річна швидкість вітру в Луцьку зменшується (рис. 2), лінійний тренд статистично незначимий (табл. 1). Для більшості місяців року теж характерне зменшення середньої швидкості вітру, для серпня і вересня ця тенденція статистично значуща. У січні, лютому, квітні та вересні простежується деяке зростання середніх швидкостей вітру, але ця динаміка статистично незначуща (див. табл. 1).

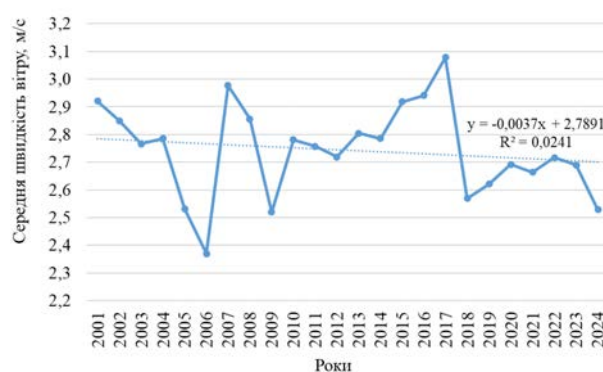


Рис. 2. Багаторічна (2001–2024 рр.) динаміка середньорічної швидкості вітру на метеостанції Луцьк за період 2001–2024 рр.

Упродовж року найнижчі (переважно 2,0–2,5 м/с) середньомісячні значення швидкості вітру спостерігаються в липні–вересні, а найвищі (зазвичай 3,0–3,5 м/с) – в грудні–березні (рис. 3).

Середня багаторічна повторюваність штилів становить 26,1 %. З рис. 4 видно, що річні значення повторюваності штилів упродовж досліджуваного проміжку часу стрімко зменшуються, лінійний тренд статистично значущий.

Така ж тенденція притаманна усім місяцям року (табл. 2). Найчастіше штилі спостерігаються в липні–вересні, а найрідше – в листопаді–лютому (рис. 5).

Щодо середніх річних значень максимальної швидкості вітру, то на метеостанції Луцьк вони стрімко зростають (рис. 6), лінійний тренд статистично значущий (табл. 3).

Так само статистично значущим є зростання найбільших значень максимальної швидкості вітру за рік (рис. 7, див. табл. 3). В усі місяці, крім серпня, швидкість максимальних поривів вітру зростає; у квітні,

Таблиця 1

Тенденції змін середніх значень річної та місячних швидкостей вітру в Луцьку впродовж 2001–2024 рр. і статистична значущість виявлених трендів

Показник за проміжок часу		Рівняння лінійного тренду	R ²	R	σ _R	2σ _R	Статистична значимість тренду
Середня швидкість вітру	Січень	y = 0,0125x + 3,0393	0,0196	0,1400	0,2044	0,4089	незначимий
	Лютий	y = 0,0135x + 2,9548	0,0288	0,1697	0,2025	0,4050	незначимий
	Березень	y = -0,0162x + 3,3705	0,0519	0,2278	0,1977	0,3954	незначимий
	Квітень	y = 0,0135x + 2,742	0,0577	0,2402	0,1965	0,3930	незначимий
	Травень	y = -0,0039x + 2,7327	0,012	0,1095	0,2060	0,4120	незначимий
	Червень	y = -0,0129x + 2,688	0,0874	0,2956	0,1903	0,3806	незначимий
	Липень	y = -0,0009x + 2,3341	0,0003	0,0173	0,2085	0,4169	незначимий
	Серпень	y = -0,0147x + 2,3198	0,1417	0,3764	0,1790	0,3579	значимий
	Вересень	y = 0,0086x + 2,2134	0,0218	0,1476	0,2040	0,4079	незначимий
	Жовтень	y = -0,0034x + 2,6146	0,0017	0,0412	0,2082	0,4163	незначимий
	Листопад	y = -0,0337x + 3,3448	0,1759	0,4194	0,1718	0,3437	значимий
Грудень	y = -0,0065x + 3,1151	0,0142	0,1191	0,2056	0,4111	незначимий	
Середня річна швидкість вітру		y = -0,0037x + 2,7891	0,0241	0,1552	0,2035	0,4070	незначимий

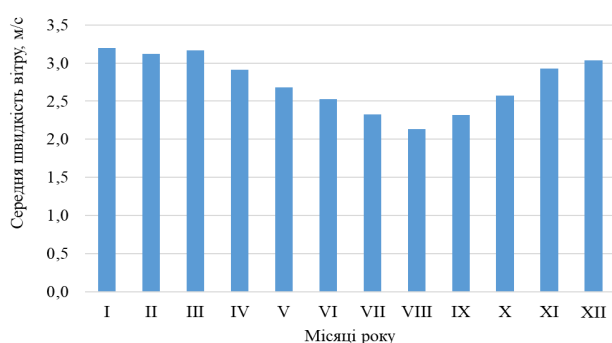


Рис. 3. Річний режим середньої швидкості вітру на метеостанції Луцьк (за даними 2001–2024 рр.)

червні та липні ця тенденція є статистично значущою (див. табл. 3).

У річному розподілі середніх за багаторічний період значень максимальних поривів вітру різких контрастів нема, однак, можна зауважити, що за цим показником найбільш вітряно в березні, а найменш – у вересні (рис. 8).

У Луцьку також помітна тенденція до зростання кількості днів зі швидкостями вітру ≥ 10 м/с та ≥ 15 м/с (рис. 9). Тенденції збільшення кількості днів зі швидкістю 10 м/с і більше упродовж 2001–2024 рр. є статистично значущими у лютому, квітні, липні, вересні та в цілому за рік (табл. 4).

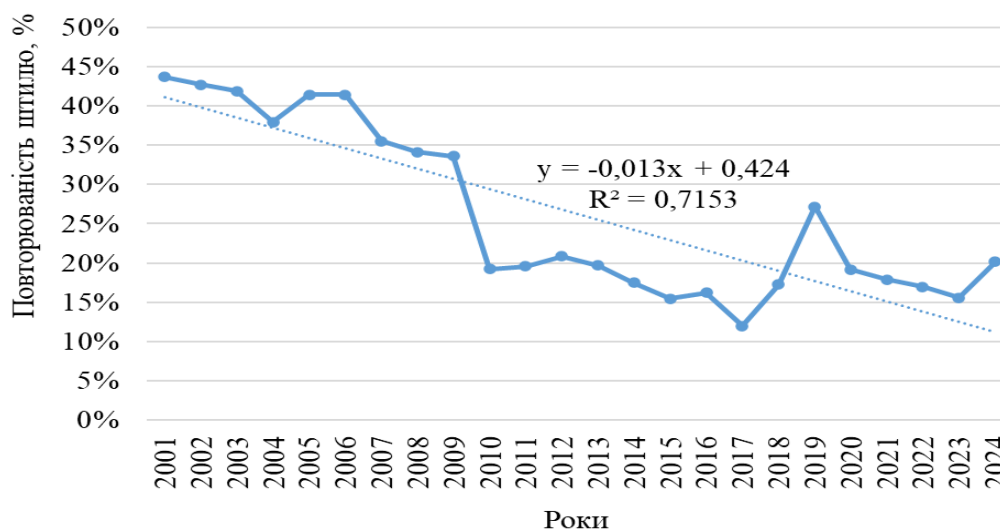


Рис. 4. Тенденції багаторічної динаміки коливань повторюваності штилів на метеостанції Луцьк (2001–2024 рр.)

Таблиця 2

Тенденції змін повторюваності штилів на метеостанції Луцьк упродовж 2001–2024 рр.
і статистична значущість виявлених трендів

Показник за проміжок часу		Рівняння лінійного тренду	R ²	R	σ _R	2σ _R	Статистична значимість тренду
Повторюваність штилів за місяць	Січень	$y = -0,0154x + 0,3832$	0,7523	0,8674	0,0516	0,1033	значимий
	Лютий	$y = -0,0151x + 0,39$	0,5813	0,7624	0,0873	0,1746	значимий
	Березень	$y = -0,0107x + 0,3482$	0,5695	0,7547	0,0898	0,1795	значимий
	Квітень	$y = -0,015x + 0,4253$	0,6061	0,7785	0,0821	0,1643	значимий
	Травень	$y = -0,0122x + 0,4255$	0,7045	0,8393	0,0616	0,1232	значимий
	Червень	$y = -0,0119x + 0,4366$	0,4441	0,6664	0,1159	0,2318	значимий
	Липень	$y = -0,0157x + 0,5435$	0,4212	0,6490	0,1207	0,2414	значимий
	Серпень	$y = -0,0136x + 0,5318$	0,4625	0,6801	0,1121	0,2242	значимий
	Вересень	$y = -0,0171x + 0,5529$	0,5946	0,7711	0,0845	0,1691	значимий
	Жовтень	$y = -0,0119x + 0,443$	0,3928	0,6267	0,1266	0,2532	значимий
	Листопад	$y = -0,0074x + 0,2944$	0,2197	0,4687	0,1627	0,3254	значимий
	Грудень	$y = -0,0101x + 0,3138$	0,4042	0,6358	0,1242	0,2485	значимий
Повторюваність штилів за рік		$y = -0,013x + 0,424$	0,7153	0,8458	0,0594	0,1187	значимий

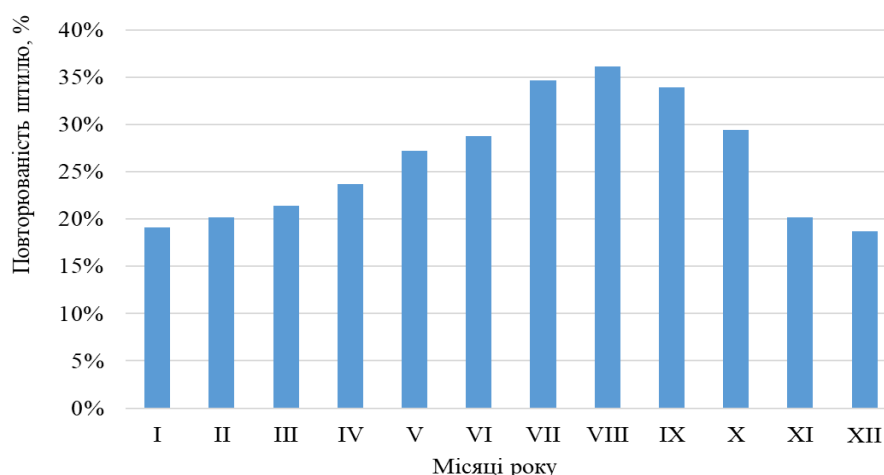


Рис. 5. Річний режим повторюваності штилів на метеостанції Луцьк (за період 2001–2024 рр.)

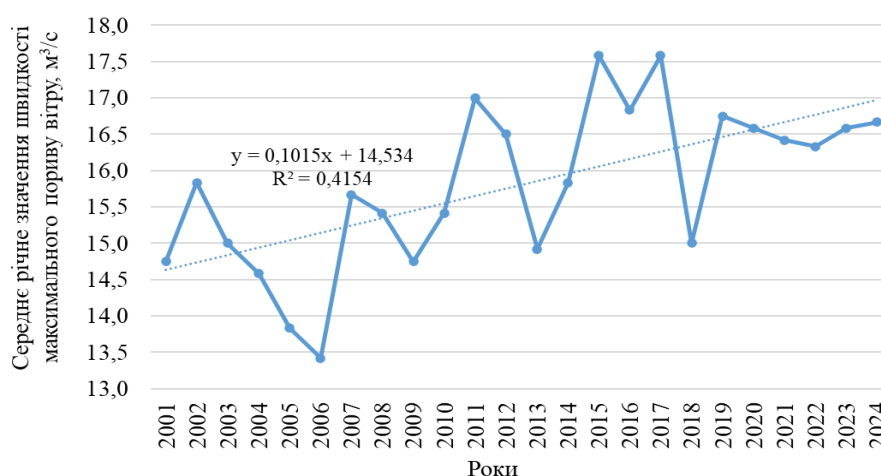


Рис. 6. Тенденції багаторічних коливань середніх річних значень максимальної швидкості вітру на метеостанції Луцьк (2001–2024 рр.)

Таблиця 3

Тенденції змін максимальної швидкості вітру упродовж 2001–2024 рр.
на метеостанції Луцьк і значущість виявлених трендів

Показник за проміжок часу	Рівняння лінійного тренду	R^2	R	σ_R	$2\sigma_R$	Статистична значимість тренду
Швидкість максимального пориву вітру	Січень $y = 0,0787x + 14,891$	0,0291	0,1706	0,2024	0,4049	Незначимий
	Лютий $y = 0,1574x + 13,949$	0,1105	0,3324	0,1855	0,3709	Незначимий
	Березень $y = 0,1265x + 15,793$	0,0768	0,2771	0,1925	0,3850	Незначимий
	Квітень $y = 0,203x + 13,254$	0,2302	0,4798	0,1605	0,3210	Значимий
	Травень $y = 0,0539x + 15,826$	0,031	0,1761	0,2021	0,4041	Незначимий
	Червень $y = 0,1617x + 13,728$	0,1807	0,4251	0,1708	0,3417	Значимий
	Липень $y = 0,1904x + 13,37$	0,1841	0,4291	0,1701	0,3403	Значимий
	Серпень $y = -0,043x + 15,246$	0,0185	0,1360	0,2047	0,4093	Незначимий
	Вересень $y = 0,0726x + 13,384$	0,0443	0,2105	0,1993	0,3986	Незначимий
	Жовтень $y = 0,113x + 14,42$	0,0776	0,2786	0,1923	0,3847	Незначимий
	Листопад $y = 0,0152x + 15,601$	0,0009	0,0300	0,2083	0,4167	Незначимий
	Грудень $y = 0,0883x + 14,938$	0,0571	0,2390	0,1966	0,3932	Незначимий
Середньорічна максимальна швидкість вітру	$y = 0,1015x + 14,534$	0,4154	0,6445	0,1219	0,2438	Значимий
Найбільше значення максимальної швидкості вітру за рік	$y = 0,1248x + 19,399$	0,141	0,3755	0,1791	0,3582	Значимий

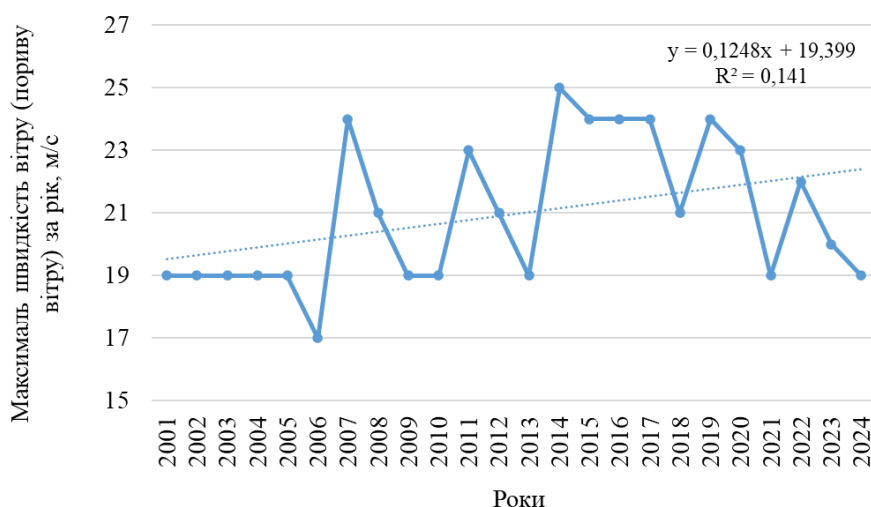


Рис. 7. Тенденції багаторічних коливань найбільших значень максимальної швидкості вітру за рік на метеостанції Луцьк (2001–2024 рр.)

Статистично значуще зростання кількості днів зі швидкістю вітру 15 м/с і більше характерне для квітня, травня, липня, жовтня та в цілому за рік (табл. 5). Упродовж року найбільше днів зі швидкістю вітру ≥ 10 м/с спостерігається в березні й квітні, найменше – у вересні; найбільше днів зі швидкістю вітру ≥ 15 м/с – у березні, найменше – у серпні й вересні (рис. 10).

Обговорення

Проведений аналіз майже 70000 записів даних строкових метеоспостережень на метеостанції Луцьк для визначення таких показників вітрового режиму, як напрямки вітру, повторюваність штилів, середня швидкість вітру, а також близько 9000 записів даних для вивчення динаміки змін максимальної швидкості вітру, кількості днів

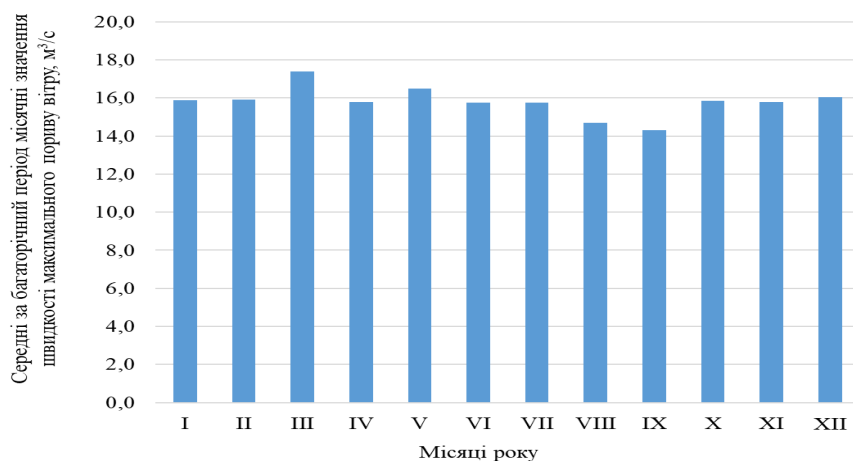


Рис. 8. Річний розподіл середніх за багаторічний період значень максимальної швидкості вітру на метеостанції Луцьк (за період 2001–2024 рр.)

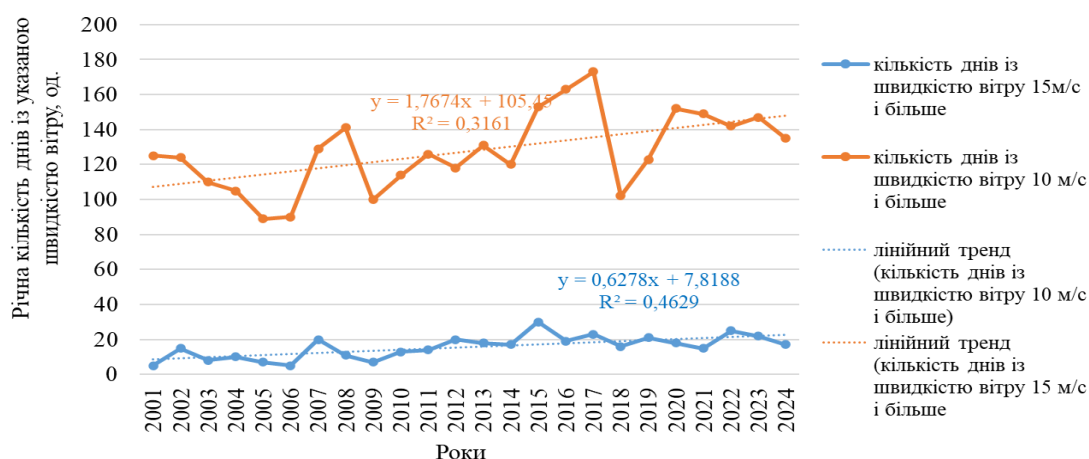


Рис. 9. Тенденції багаторічних змін кількості днів зі швидкостями вітру ≥ 10 м/с і ≥ 15 м/с на метеостанції Луцьк (2001–2024 рр.)

Таблиця 4

Тенденції змін кількості днів зі швидкістю ≥ 10 м/с упродовж 2001–2024 рр. на метеостанції Луцьк і статистична значущість виявлених трендів

Показник за проміжок часу		Рівняння лінійного тренду	R^2	R	σ_R	$2\sigma_R$	Статистична значимість тренду
Місячні суми днів	Січень	$y = 0,2361x + 8,4239$	0,1125	0,3354	0,1851	0,3701	Незначимий
	Лютий	$y = 0,3417x + 5,6449$	0,2153	0,4640	0,1636	0,3272	Значимий
	Березень	$y = 0,1717x + 11,395$	0,0652	0,2553	0,1949	0,3898	Незначимий
	Квітень	$y = 0,397x + 8,8297$	0,3596	0,5997	0,1335	0,2671	Значимий
	Травень	$y = 0,0478x + 13,069$	0,0098	0,0990	0,2065	0,4129	Незначимий
	Червень	$y = -0,0817x + 12,022$	0,0366	0,1913	0,2009	0,4018	Незначимий
	Липень	$y = 0,2248x + 7,6486$	0,174	0,4171	0,1722	0,3445	Значимий
	Серпень	$y = 0,0178x + 7,9022$	0,0014	0,0374	0,2082	0,4164	Незначимий
	Вересень	$y = 0,2113x + 5,1087$	0,1544	0,3929	0,1763	0,3526	Значимий
	Жовтень	$y = 0,1157x + 7,8043$	0,0305	0,1746	0,2022	0,4043	Незначимий
	Листопад	$y = 0,0057x + 8,6377$	8E-05	-	-	-	-
	Грудень	$y = 0,0796x + 8,9638$	0,029	0,1703	0,2025	0,4049	Незначимий
Сума днів за рік		$y = 1,7674x + 105,45$	0,3161	0,5622	0,1426	0,2852	Значимий

зі швидкостями вітру ≥ 10 м/с та ≥ 15 м/с, дозволив вперше комплексно охарактеризувати сучасний вітровий режим міста та визначити тенденції його змін.

Побудована роза вітрів засвідчує зміну конфігурації вітрового режиму порівняно з другою половиною XX ст.: якщо раніше переважали вітри західного, північно-західного, південно-східного й південного напрямків (Геренчук, 1975), то тепер домінують західний, східний, південно-західний та північно-західний напрямки. Зростання повторюваності вітрів східних румбів у Луцьку, ймовірно, пов'язане зі змінами великомасштабної атмосферної

циркуляції над Європою (Zeng et al., 2019; Wohland et al., 2021).

Середньорічна швидкість вітру в Луцьку (2,7 м/с) є невеликою і виявляє низхідну тенденцію впродовж досліджуваного періоду, що узгоджується з глобальним явищем уповільнення приземного вітру над суходолом (terrestrial stilling), зафіксованим у численних регіонах світу (Zeng et al., 2019).

Разом із тим статистично значущими виявились зміни не середньої швидкості, а саме екстремальних показників вітрового режиму: зростають максимальна швидкість вітру, кількість днів із швидкостями вітру ≥ 10 м/с та ≥ 15 м/с, суттєво знижується повторюваність

Таблиця 5
Тенденції змін кількості днів зі швидкістю ≥ 15 м/с упродовж 2001–2024 рр.
на метеостанції Луцьк і значущість виявлених трендів

Показник за проміжок часу		Рівняння лінійного тренду	R ²	R	σ _R	2σ _R	Статистична значимість тренду
Місячні суми днів	Січень	y = 0,03x + 1,4167	0,0075	0,0866	0,2070	0,4139	Незначимий
	Лютий	y = 0,0609x + 0,7391	0,1014	0,3184	0,1874	0,3747	Незначимий
	Березень	y = 0,08x + 1,1667	0,0756	0,2750	0,1928	0,3855	Незначимий
	Квітень	y = 0,103x + 0,1703	0,1851	0,4302	0,1699	0,3398	Значимий
	Травень	y = 0,0561x + 0,5906	0,1342	0,3663	0,1805	0,3611	Значимий
	Червень	y = 0,0335x + 0,7065	0,045	0,2121	0,1991	0,3983	Незначимий
	Липень	y = 0,0639x + 0,1594	0,1622	0,4027	0,1747	0,3494	Значимий
	Серпень	y = 0,0048x + 0,5652	0,0011	0,0332	0,2083	0,4166	Незначимий
	Вересень	y = 0,0322x + 0,3478	0,0366	0,1913	0,2009	0,4018	Незначимий
	Жовтень	y = 0,1061x - 0,1594	0,2339	0,4836	0,1597	0,3195	Значимий
	Листопад	y = 0,0283x + 1,1051	0,0139	0,1179	0,2056	0,4112	Незначимий
	Грудень	y = 0,0291x + 1,0109	0,0182	0,1349	0,2047	0,4094	Незначимий
Сума днів за рік		y = 0,6278x + 7,818	0,4629	0,6804	0,1120	0,2240	Значимий

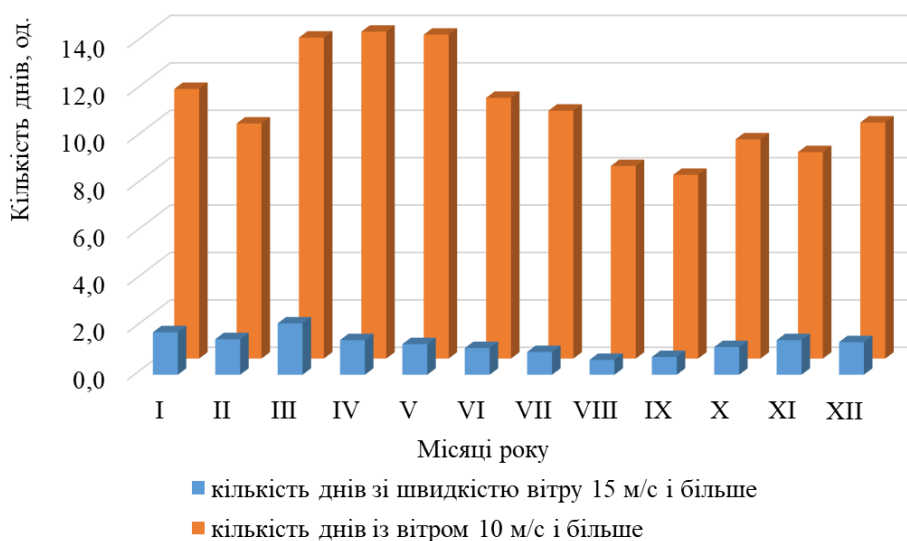


Рис. 10. Річний розподіл кількості днів зі швидкостями вітру ≥ 10 м/с та ≥ 15 м/с на метеостанції Луцьк (за період 2001–2024 рр.)

штилів. Це підтверджує сучасні уявлення про складний і регіонально неоднорідний характер трансформацій вітрового режиму, коли зміни проявляються не стільки у середніх значеннях, скільки у перерозподілі їх повторюваності, зростанні мінливості екстремальних значень (Zeng et al., 2019; Wohland et al., 2021).

Висновки

Комплексний аналіз вітрового режиму метеостанції Луцьк за 2001–2024 рр. дозволив встановити усереднені значення його характеристик і тенденції їх змін в часі. Порівняно з ХХ ст., у ХХІ ст. повторюваність західних вітрів залишилась на тому ж рівні (18–19 %), тоді як повторюваність вітрів східного та південно-західного напрямків дещо зросла. Середньорічна швидкість вітру в Луцьку невелика – 2,7 м/с і зменшується упродовж 2001–2024 рр., хоча в січні, лютому, квітні та вересні простежується деяке зростання середніх швидкостей вітру. Середня за досліджуваний період місячна швидкість максимального пориву вітру складає 15,8 м/с, а найбільше значення максимальної швидкості вітру – 25 м/с (березень 2014 року). У середньому за рік у Луцьку налічується 127,5 діб зі швидкістю

вітру ≥ 10 м/с і 15,7 діб зі швидкістю вітру ≥ 15 м/с. Статистично значимими є зміни річних величин усіх аналізованих показників, крім середньої швидкості вітру. У розрізі місяців переважно статистично значущі тенденції змін вітрового режиму характерні для квітня та липня. Квітень – місяць, якому властиві зростання середньої швидкості вітру, швидкості максимальних поривів, кількості днів із вітром зі швидкостями ≥ 10 м/с та ≥ 15 м/с, а також зменшення повторюваності штилів. Щодо протилежної тенденції (зменшення середньої швидкості вітру і максимальної швидкості вітру), то такою характеризується серпень. У цілому впродовж року зазвичай найбільш «вітряними» є березень і квітень, а найбільш «тихі» в цьому плані – серпень і вересень.

У перспективі досліджень доцільним бачиться вивчення змін вітрового режиму в розрізі сезонів. Інформативним може бути також аналіз зв'язку вітрового та температурного режимів, вітрового режиму та режиму зволоження тощо. Дослідження вітрового режиму на інших метеостанціях області дозволить виявити його просторові особливості в регіоні.

Список використаної літератури

Веклич Ю. М. Геоологій морфо-літогенез та методологічні аспекти його дослідження: монографія. Київ: УкрДГРІ, 2018. 254 с.

Звіт про науково-дослідну роботу «Проведення просторового аналізу змін водного режиму басейнів поверхневих водних об'єктів на території України внаслідок зміни клімату». Київ: УкрГМІ, 2013. 228 с.

Івус Г. П., Агайар Е. В., Гурська А. М., Семергей-Чумаченко А. Б. Циркуляційні умови виникнення сильного та стихійного вітру над південним заходом України. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2016. №17. С. 38–49.

Кульбіда М. І., Єлістратова А. О., Барабаш М. Б. Сучасний стан клімату України. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2013. Вип. 35. С. 118–130.

Ліпінський В. М., Дячук В. А., Бабіченко В. М. Клімат України. Київ : Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.

Осадчий В. І., Скриник О. Я., Ошурок Д. О., Скриник О. А. Вітрові ресурси Тернопільської області. *Геоінформатика*. 2017. № 4(64). С. 48–56.

Павловська Т. С., Білецький Ю. В., Валянський С. В. Просторовий розподіл і режим випадання атмосферних опадів у Волинській області. *Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2024а. Вип. 3. С. 13–23. DOI: <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.3.02>

Павловська Т. С., Климюк І. В., Білецький Ю. В., Геналюк Р. М. Вітровий режим на метеостанції Луцьк (2001–2018 рр.). *Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток територій Землі: наслідки та шляхи вирішення*: зб. наук. праць III Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Херсон, 11–12 червня 2020 року). Херсон: ДВНЗ «ХДАУ», 2020. С. 189–192.

Павловська Т. С., Кондратчук О. В., Михалюк А. М., Ройко С. Р. Режим випадання опадів на метеостанції Луцьк упродовж 2001–2022 рр. *Raccolta di articoli scientifici «ЛОГОΣ»*. Bologna-Vinnitsya, 2024б. С. 385–390. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-15.11.2024.085>

Павловська Т. С., Стельмах В. Ю. Просторово-часова динаміка змін відносної вологості повітря у Волинській області. *Science, technology and innovation in the context of global transformation: Scientific monograph*. Riga: Baltija Publishing, 2024. С. 65–95. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-499-3-4>.

Павловська Т. С., Стельмах В. Ю., Рудик О. В., Нікон О. Просторово-часова динаміка змін сезонних значень відносної вологості повітря у Волинській області. *Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2025. Вип. 5(5). С. 35–43. DOI: <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2025.5.03>

Павловська Т. С., Федонюк М. А., Рудик О. В. Температурний режим повітря у Волинській області: хронологічний та хорологічний аспекти. *Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2023. Вип. 1. С. 39–48. DOI: <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2023.1.04>

Природа Волинської області / за ред. К. І. Геренчука. Львів: Вид. об'єднання «Вища школа». 1975. 147 с.

Решетченко С. І. Дослідження вітрового режиму на території Харківської області на початку ХХІ століття». *Вісник ХНУ ім. Каразіна*. 2013. №1049. С. 160–164.

Стельмах В., Павловська Т., Жданюк Б. Хмарність на метеостанції Луцьк і тенденції її змін упродовж 2001–2020 рр. *Український журнал природничих наук*. Одеса: Гельветика, 2025. № 13. С. 199–211. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.18>

Федонюк В. В., Панькевич С. Г., Федонюк М. А. Вітровий режим та вітроенергетичний потенціал Луцька. *Екологічні науки*. 2024. № 1(52). С. 156–163. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.24>

Фоменко С. О. Вплив зміни клімату на вітровий режим на території України. *Екологічно сталий розвиток урбосистем: виклики та рішення в контексті євроінтеграції України : матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. : до дня пам'яті Ф. В. Стольберга (Харків, 05–06 листопада) 2024 р.* Харків, 2024. С. 81–83.

Deng K., Li Z., Zhu C., Wu J., Chen H. Global near-surface wind speed changes over the last four decades based on observations and reanalysis data. *Journal of Climate*. 2021. Vol. 34, № 6. P. 2345–2362. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0310.1>

Fedoniuk V., Pankevich A., Fedoniuk M., Pankevich S. Analysis of the wind regime of Lutsk in the context of regional manifestations of climate changes. *The Scientific Issues of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University Series Geography*. 2024. Vol. 56. No. 1. P. 27–34. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.24.1.4>

Jacob D. J. *Introduction to Atmospheric Chemistry*. Princeton: Princeton University Press, 1999. 266 p.

Jacob D. J., Winner D. A. Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment*. 2009. Vol. 43, № 1. P. 51–63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.051>

Laurila T. K., Pickup G., Davidson N. E., McGrath R. Climatology, variability, and trends in near-surface wind speed over land. *International Journal of Climatology*. 2021. Vol. 41, № 5. P. 2136–2154. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6957>

McVicar T. R., Roderick M. L., Donohue R. J., Li L. T., Van Niel T. G., Thomas A., Grieser J., Jhajharia D., Himri Y., Mahowald N. M., Mescherskaya A. V., Kruger A. C., Rehman S., Dinpashoh Y. Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: Implications for evaporation. *Journal of Hydrology*. 2012. Vol. 416–417. P. 182–205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.024>

Vautard R., Cattiaux J., Yiou P., Thépaut J.-N., Ciais P. Northern Hemisphere atmospheric stilling partly attributed to an increase in surface roughness. *Nature Geoscience*. 2010. Vol. 3. P. 756–761. DOI: <https://doi.org/10.1038/ngeo979>

Wohland J., Folini D., Pickering B. Wind speed stilling and its recovery due to internal climate variability. *Earth System Dynamics*. 2021. Vol. 12. P. 1239–1251. DOI: <https://doi.org/10.5194/esd-12-1239-2021>

Zeng Z., Ziegler A. D., Searchinger T., Yang L., Chen A., Ju K., Piao S., Li L. A reversal in global terrestrial stilling and its implications for wind energy production // *Nature Climate Change*. 2019. Vol. 9. P. 979–985. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0622-6>

References

Veklych, Yu. M. (2018). Heoeolovyi morfo-litohenz ta metodolohichni aspekty yoho doslidzhennia [Geoeolian morpho-lithogenesis and methodological aspects of its research]. UkrDHRI. [in Ukrainian]

UkrHMI. (2013). Zvit pro naukovu-doslidnu robotu «Provedennia prostorovoho analizu zmin vodnogo rezhymu baseyniv poverkhnevyykh vodnykh ob'ektiv na terytorii Ukrainy vnaslidok zminy klimatu» [Report on research work «Spatial analysis of changes in the water regime of surface water body basins in Ukraine due to climate change»]. [in Ukrainian]

- Ivus, H. P., Ahayar, E. V., Hurska, L. M., & Semerehei-Chumachenko, A. B. (2016). Tsyrukuliatsiini umovy vynykennia sylnoho ta stykhiinoho vitru nad pivdennym zakhodom Ukrainy [Circulation conditions for the occurrence of strong and violent winds over southwestern Ukraine]. *Ukrainskyi hidrometeorologichnyi zhurnal [Ukrainian Hydrometeorological Journal]*, (17), 38–49. [in Ukrainian]
- Kulbida, M. I., Yelistratova, L. O., & Barabash, M. B. (2013). Suchasnyi stan klimatu Ukrainy [Current state of Ukraine's climate]. *Problemy okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha ta ekolohichnoi bezpeky [Problems of Environmental Protection and Ecological Safety]*, (35), 118–130. [in Ukrainian]
- Lipinskyi, V. M., Diachuk, V. A., & Babichenko, V. M. (2003). Klimat Ukrainy [Climate of Ukraine]. Vyd-vo Raievskoho. [in Ukrainian]
- Osadchyi, V. I., Skrynyk, O. Ya., Oshurok, D. O., & Skrynyk, O. A. (2017). Vitrovi resursy Ternopilskoi oblasti [Wind resources of Ternopil region]. *Heoinformatyka [Geoinformatics]*, (4(64)), 48–56. [in Ukrainian]
- Pavlovska, T. S., Biletskyi, Yu. V., & Valianskyi, S. V. (2024a). Prostorovyi rozpodil i rezhym vypadannia atmosfernykh opadiv u Volynskii oblasti [Spatial distribution and regime of atmospheric precipitation in Volyn region]. *Heohrafichnyi chasopys Volynskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky [Geographical Journal of Lesya Ukrainka Volyn National University]*, (3), 13–23. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.3.02>
- Pavlovska, T. S., Klymiuk, I. V., Biletskyi, Yu. V., & Henaliuk, R. M. (2020). Vitrovi rezhym na meteostantsii Lutsk (2001–2018 rr.) [Wind regime at the Lutsk meteorological station (2001–2018)]. In *Vplyv klimatychnykh zmin na prostorovyi rozvytok terytorii Zemli: naslidky ta shliakhy vyrishennia [Impact of climate change on the spatial development of Earth's territories: consequences and solutions]: Proceedings of the III International Scientific-Practical Conference* (Kherson, June 11–12, 2020) (pp. 189–192). KhDAU. [in Ukrainian]
- Pavlovska, T. S., Kondratchuk, O. V., Mykhaliuk, A. M., & Roiko, S. R. (2024b). Rezhym vypadannia opadiv na meteostantsii Lutsk uprodovzh 2001–2022 rr. [Precipitation regime at the Lutsk meteorological station during 2001–2022]. In *Raccolta di articoli scientifici «LOGOS»* (pp. 385–390). Bologna–Vinnitsia. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-15.11.2024.085>
- Pavlovska, T. S., & Stelmakh, V. Yu. (2024). Prostorovo-chasova dynamika zmin vidnosnoi volohosti povitria u Volynskii oblasti [Spatio-temporal dynamics of relative air humidity changes in Volyn region]. In *Science, technology and innovation in the context of global transformation: Scientific monograph* (pp. 65–95). Baltija Publishing. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-499-3-4>
- Pavlovska, T. S., Stelmakh, V. Yu., Rudyk, O. V., & Nikon, O. (2025). Prostorovo-chasova dynamika zmin sezonnykh znachen vidnosnoi volohosti povitria u Volynskii oblasti [Spatio-temporal dynamics of seasonal relative air humidity changes in Volyn region]. *Heohrafichnyi chasopys Volynskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky [Geographical Journal of Lesya Ukrainka Volyn National University]*, 5(5), 35–43. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2025.5.03>
- Pavlovska, T. S., Fedoniuk, M. A., & Rudyk, O. V. (2023). Temperaturnyi rezhym povitria u Volynskii oblasti: khronologichnyi ta khorologichnyi aspekty [Air temperature regime in Volyn region: chronological and chorological aspects]. *Heohrafichnyi chasopys Volynskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky [Geographical Journal of Lesya Ukrainka Volyn National University]*, (1), 39–48. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2023.1.04>
- Herenchuk, K. I. (Ed.). (1975). Pryroda Volynskoi oblasti [Nature of Volyn region]. Vyscha shkola. [in Ukrainian]
- Reshetchenko, S. I. (2013). Doslidzhennia vitrovoho rezhymu na terytorii Kharkivskoi oblasti na pochatku XXI stolittia [Study of wind regime in Kharkiv region at the beginning of the 21st century]. *Visnyk KhNU im. Karazina [Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University]*, (1049), 160–164. [in Ukrainian]
- Stelmakh, V., Pavlovska, T., & Zhdaniuk, B. (2025). Khmarnis na meteostantsii Lutsk i tendentsii yii zmin uprodovzh 2001–2020 rr. [Cloudiness at the Lutsk meteorological station and trends in its changes during 2001–2020]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychych nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, (13), 199–211. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.18> [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.18>
- Fedoniuk, V. V., Pankevych, S. H., & Fedoniuk, M. A. (2024). Vitrovi rezhym ta vitroenerhetychni potentsial Lutsk [Wind regime and wind energy potential of Lutsk]. *Ekolohichni nauky [Ecological Sciences]*, (1(52)), 156–163. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.24>

Fomenko, S. O. (2024). Vplyv zminy klimatu na vitrovyi rezhym na terytorii Ukrainy [Impact of climate change on wind regime in Ukraine]. In *Ekolohichno stalyi rozvytok urbosystem: vyklyky ta rishennia v konteksti yevrointehratsii Ukrainy: Proceedings of the All-Ukrainian scientific and practical internet conference dedicated to the memory of F. V. Stolberg* (Kharkiv, November 5–6, 2024) (pp. 81–83). Kharkiv [in Ukrainian].

Deng, K., Li, Z., Zhu, C., Wu, J., & Chen, H. (2021). Global near-surface wind speed changes over the last four decades based on observations and reanalysis data. *Journal of Climate*, 34(6), 2345–2362. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0310.1>.

Fedoniuk, V., Pankevich, A., Fedoniuk, M., & Pankevich, S. (2024). Analysis of the wind regime of Lutsk in the context of regional manifestations of climate changes. *The Scientific Issues of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University Series Geography*, 56(1), 27–34. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.24.1.4>

Jacob, D. J. (1999). *Introduction to atmospheric chemistry*. Princeton University Press.

Jacob, D. J., & Winner, D. A. (2009). Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment*, 43(1), 51–63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.051>.

Laurila, T. K., Pickup, G., Davidson, N. E., & McGrath, R. (2021). Climatology, variability, and trends in near-surface wind speed over land. *International Journal of Climatology*, 41(5), 2136–2154. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6957>.

McVicar, T. R., Roderick, M. L., Donohue, R. J., Li, L. T., Van Niel, T. G., Thomas, A., Grieser, J., Jhajharia, D., Himri, Y., Mahowald, N. M., Mescherskaya, A. V., Kruger, A. C., Rehman, S., & Dinpashoh, Y. (2012). Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: Implications for evaporation. *Journal of Hydrology*, 416–417, 182–205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.024>.

Vautard, R., Cattiaux, J., Yiou, P., Thépaut, J.-N., & Ciais, P. (2010). Northern Hemisphere atmospheric stilling partly attributed to an increase in surface roughness. *Nature Geoscience*, 3, 756–761. DOI: <https://doi.org/10.1038/ngeo979>.

Wohland, J., Folini, D., & Pickering, B. (2021). Wind speed stilling and its recovery due to internal climate variability. *Earth System Dynamics*, 12, 1239–1251. DOI: <https://doi.org/10.5194/esd-12-1239-2021>.

Zeng, Z., Ziegler, A. D., Searchinger, T., Yang, L., Chen, A., Ju, K., Piao, S., & Li, L. (2019). A reversal in global terrestrial stilling and its implications for wind energy production. *Nature Climate Change*, 9, 979–985. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0622-6>.

Дата першого надходження статті до видання: 11.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 08.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



УДК 330.15:332.1:911.3

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.12>

ЗЕЛЕНА ТРАНСФОРМАЦІЯ РЕГІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ: ГЕОГРАФІЧНИЙ ВИМІР

Н. М. Петруха¹, С. В. Петруха², О. Б. Шаповалов³

Початок ХХІ століття відзначений системною трансформацією світової економіки під впливом кліматичних умов. Перехід до моделі низьковуглецевого та ресурсоефективного розвитку стає об'єктивною потребою структурної модернізації економічних систем. Географічний підхід дозволяє комплексно оцінити територіальні особливості екологізації господарства та обґрунтувати ефективні напрями регіональної політики сталого розвитку. Метою дослідження є теоретичне обґрунтування та розроблення науково-практичних засад зеленої трансформації регіональної економіки з урахуванням її географічних особливостей, просторових диспропорцій і природно-ресурсного потенціалу, а також формування рекомендацій щодо підвищення ефективності регіональної політики сталого розвитку в контексті сучасних кліматичних викликів. Методами аналізу є аналіз і синтез, індукція та дедукція, узагальнення, систематизація для формування теоретичних засад дослідження, порівняльно-географічний метод, картографічний та ГІС-аналіз, сценарне прогнозування. Проаналізовано теоретичні засади зеленої трансформації економіки та узагальнено наукові підходи до її трактування в контексті регіонального розвитку. Систематизовано географічні підходи до вивчення трансформаційних процесів у регіональній економіці та визначити їх аналітичний потенціал. Досліджено природно-ресурсні, демографічні та господарські передумови формування зеленої економіки в обраному регіоні. Акцентовано на сучасній галузевій структурі регіональної економіки та виявлено структурні зрушення, пов'язані з процесами декарбонізації та екологізації виробництва. Виявлено просторові диспропорції та екологічну диференціацію територій, визначено зони підвищеного антропогенного навантаження. Розроблено науково обґрунтовані рекомендації щодо формування регіональної політики зеленої трансформації з урахуванням географічної специфіки території. Наукова новизна розробки полягає у формуванні комплексного підходу до аналізу зеленої трансформації крайової економіки через поєднання економічних та економіко-географічних засобів оцінки. Практична значущість отриманих результатів полягає у можливості їх використання органами регіонального управління під час розроблення стратегій сталого розвитку, програм декарбонізації та планів післякризового відновлення територій.

Ключові слова: екологізація, просторовий контекст, географічні передумови, енергетична декарбонізація, регіональна економіка, відновлювана енергетика, просторові диспропорції, екологічне навантаження.

¹ кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри менеджменту в будівництві
(Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)
ORCID: 0000-0002-3805-2215

² кандидат економічних наук, доцент
професор кафедри транспорту і логістики
(Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль)
ORCID: 0000-0002-8859-0724

³ завідувач лабораторії проектного менеджменту
Навчально-наукового інституту інноватики, природокористування та інфраструктури
(Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль)
ORCID: 0009-0003-6086-2403

GREEN TRANSFORMATION OF THE REGIONAL ECONOMY: THE GEOGRAPHICAL DIMENSION

N. M. Petrukha, S. V. Petrukha, O. B. Shapovalov

The beginning of the 21st century is marked by a systemic transformation of the world economy under the influence of climate change. The transition to a model of low-carbon and resource-efficient development is not an alternative, but an objective need for the structural modernization of economic systems. The geographical approach allows for a comprehensive assessment of the territorial features of the greening of the economy and to substantiate effective directions of regional sustainable development policy. The purpose of the study is to theoretically substantiate and develop scientific and practical principles of green transformation of the regional economy, taking into account its geographical features, spatial disparities and natural resource potential, as well as to formulate recommendations for increasing the effectiveness of regional sustainable development policy in the context of modern climate challenges. The methods of problem analysis are analysis and synthesis, induction and deduction, generalization, systematization for the formation of theoretical foundations of the study, comparative geographical method, cartographic and GIS analysis, scenario forecasting. The theoretical foundations of the green transformation of the economy are analyzed and scientific approaches to its interpretation in the context of regional development are generalized. Geographical approaches to the study of transformation processes in the regional economy are systematized and their analytical potential is determined. The natural resource, demographic and economic prerequisites for the formation of a green economy in the selected region are studied. Attention is focused on the modern industry structure of the regional economy and structural shifts associated with the processes of decarbonization and greening of production are identified. Spatial disparities and ecological differentiation of territories are identified, zones of increased anthropogenic load are determined. Scientifically based recommendations have been developed for the formation of regional green transformation policy taking into account the geographical specificity of the territory. The scientific novelty of the development lies in the formation of a comprehensive approach to the analysis of the green transformation of the regional economy through a combination of economic and economic-geographical assessment tools. The practical significance of the results obtained lies in the possibility of their use by regional government bodies when developing sustainable development strategies, decarbonization programs and post-crisis recovery plans for territories.

Key words: greening, spatial context, geographical prerequisites, energy decarbonization, regional economy, renewable energy, spatial disparities, environmental burden.

Вступ

Світові кліматичні зміни перетворилися на один із ключових чинників трансформації світового господарства. Збільшення середньорічної температури, посилення екстремальних погодних умов та зростання економічних збитків від стихійних лих зумовляють потребу переходу до низько-вуглецевої моделі розвитку. У цьому аспекті зелена трансформація виступає інструментом підвищення довготривалої конкурентоспроможності економіки.

Європейський вектор розвитку України посилює актуальність зазначеної проблематики. Реалізація стратегії European Green Deal передбачає досягнення кліматичної нейтральності, масштабну декарбонізацію промисловості, розвиток відновлюваної енергетики та впровадження принципів циркулярної економіки (Agan, 2024). Для України це означає необхідність адаптації регіональних економічних систем до нових екологічних стандартів, зокрема в умо-

вах запровадження механізмів вуглецевого регулювання та посилення експортних вимог на європейському ринку.

Проблематика полягає у потребі поєднання економічної ефективності з екологічною безпекою та суспільною збалансованістю поступу. Регіони суттєво різняться за галузевою спеціалізацією, природно-ресурсним потенціалом, інноваційною спроможністю та рівнем антропогенного тиску, що зумовляє різну плінність і глибину перетворювальних процесів. Брак комплексної просторової методики визначення рівня екологізації господарства ускладнює ухвалення обґрунтованих управлінських рішень та формування цільової регіональної політики.

У контексті проблеми зеленої трансформації регіональної економіки наукові праці та дослідження фокусуються на концептуальних, методологічних і прикладних аспектах цієї трансформації.

В. А. Костенко (Костенко, 2026) аналізує методологічні підходи до оцінки зеленої

економіки регіонів в умовах сучасних трансформацій, що дозволяє формувати індикативні системи оцінювання. І. А. Колодійчук, М. Б. Куртяк (Колодійчук і Куртяк, 2024) досліджували соціально-економічні передумови переходу до зеленої економіки в регіонах України, зокрема механізми адаптації економіки до екологічних викликів. Л. Горбач (Горбач, 2024) обґрунтував концептуальні засади розвитку зеленої економіки в регіоні з урахуванням структурних і соціальних чинників. С. В. Петруха, Н. М. Петруха, І. А. Демидьонко, М. І. Тарасенко (Петруха та ін., 2022) торкалися питань сталого розвитку, координації рішень на місцевому рівні, що переключається з концепцією зеленої трансформації.

Ж. І. Доносо Салас, М. Таро (Donoso Salas & Tharaux, 2026) зосереджувалися на питаннях залучення та збереження «зелених» кадрів у регіонах, що є ключовим для реалізації зеленої трансформації. С. Ріттер, В. Роюела (Ritter & Royuela, 2026) аналізували географію зеленої трансформації в регіонах. Б. Аган (Agan, 2024) досліджував вплив зеленої трансформації на сталий розвиток країн ЄС за допомогою кількісних методів. К. Чанг та ін. (Chang et al., 2023) вивчали вплив інновацій зелених технологій на викиди вуглекислого газу. П. Демірель, Е. Мартінес-Рос, Ф. Куатраро (Demirel, Martinez-Ros & Quatraro, 2025) розглядали новачки як основний чинник зеленого переходу, окреслюючи майбутні труднощі та можливості. К. Кастальді, М. Аббасіхарофтех, С. Петралія (Castaldi et al., 2026) досліджували, як територіальні одиниці можуть концентруватися на екологічних ринках, висвітлюючи роль державної політики та запроваджень. А.-А. Валаке-Деринга, М. Чуря, М. Попеску (Valache-Dăringă et al., 2025) зробили огляд екологічного зрушення як важливої складової сталої розбудови, спираючись на значний масив праць, індексованих у Scopus. А. Уллах та ін. (Ullah et al., 2024) оцінювали дію руху до відновлюваних джерел енергії на стійке економічне зростання в рамках територіального зближення.

Метою дослідження є теоретичне обґрунтування та створення комплексного географічно спрямованого методу до зеленої трансформації регіональної економіки, що враховує територіальні нерівності, природно-ресурсну спроможність та виробничу структуру місцевостей, а також формування науково підкріплених рекомендацій для збільшення дієвості регіональної стра-

тегії збалансованого зростання та запровадження засад низьковуглецевої системи.

Матеріал і методи

У дослідженні застосовано комплекс методів, що забезпечують системний та обґрунтований підхід до аналізу проблеми. Серед них: загальнонаукові методи аналізу, синтезу, індукції та дедукції для формування теоретичних засад; порівняльно-географічний аналіз для виявлення територіальних відмінностей у темпах і рівні зеленої трансформації; статистичний та економіко-математичний аналіз для обробки показників ВРП, викидів CO₂, частки відновлюваної енергетики. Такий комплексний підхід забезпечує наукову обґрунтованість та практичну значущість результатів дослідження.

Результати

Уявлення про «зелену економіку» постало на стику екології та господарювання і має на увазі такий розвиток, що забезпечує господарське піднесення при зменшенні шкідливого впливу на довкілля та поміркованому застосуванні природних багатств. Географічний підхід дає змогу брати до уваги територіальні особливості країв, просторову диференціацію надбань, людства, інфраструктури та промислових групувань (Valache-Dăringă et al., 2025). Розгляд економічної перебудови крізь просторовий погляд дозволяє знаходити диспропорції розвитку, вимірювати дієвість крайової політики та передчувати вплив «зеленого» перетворення на різні землі (Donoso Salas & Tharaux, 2026).

Для системного аналізу факторів, що визначають ефективність зеленої трансформації регіональної економіки, доцільно виділити основні географічні, соціально-економічні та інституційні чинники. Ключові компоненти просторового середовища регіону, що впливають на реалізацію «зелених» стратегій подано у табл. 1.

Сучасна галузева будова регіональних економік України вирізняється певною відмінністю залежно від природно-ресурсних чинників, історичної спеціалізації та ступеня розвитку економічної інфраструктури. У звичних індустріальних осередках (східні та частково середні області) опанують важка промисловість, металургія, машинобудування, енергетика та видобувні сфери, що створюють суттєву частку валового обласного продукту та високий ступінь викидів парникових газів. На противагу цьому, у західних та південних областях значнішу вагу мають легка промисловість, землеко-

Таблиця 1

Географічні передумови та просторові чинники зеленої трансформації регіону

Критерій	Ключові аспекти	Вплив на зелену трансформацію
Природно-ресурсний потенціал	Сонце, вітер, біомаса, вода; мінеральні ресурси; родючі ґрунти	Визначає можливості розвитку ВДЕ, ресурсоефективних та низьковуглецевих виробництв
Територіальна структура господарства	Концентрація промисловості, сільське господарство, сервіси	Впливає на рівень екологічного навантаження; формує потребу у просторовому плануванні
Демографічні та соціально-економічні особливості	Освітній рівень, кваліфікація кадрів, урбанізація, інноваційний потенціал	Сприяють адаптації регіону до «зелених» технологій та інноваційних інвестицій
Інфраструктурні та логістичні передумови	Транспортні коридори, енергетичні мережі, логістика	Забезпечують ефективне впровадження відновлюваних технологій і «зеленої» модернізації
Інституційно-управлінський контекст	Органи влади, законодавство, стимули, координація	Формує політичну і адміністративну основу для зеленої трансформації

Джерело: сформовано авторами на основі (Горбач, 2024; Костенко, 2026; Ritter & Royuela, 2026)

Таблиця 2

Галузева структура регіональної економіки України та структурні зрушення у контексті декарбонізації

Макрорегіон	Домінуючі галузі (станом на 2024–2025 рр.)	Структурні зрушення у процесі декарбонізації	Нові / зростаючі «зелені» напрями
Західний	Легка промисловість, деревообробка, харчова промисловість, IT-сектор, агропереробка	Зменшення енергоємності виробництва; перехід на біоенергетику; впровадження енергоефективних технологій у переробці	Сонячні електростанції (СЕС), біоТЕС, органічне виробництво, енергосервісні компанії
Центральний	Аграрний сектор, харчова промисловість, машинобудування, логістика	Зростання частки розподіленої сонячної генерації; модернізація агровиробництва (точне землеробство, ресурсоефективність)	Домогосподарські СЕС, агроекологічні кластери, біогазові установки
Південний	Агропромисловий комплекс, портова інфраструктура, енергетика	Заміщення частини традиційної енергогенерації ВДЕ; розвиток вітрової та сонячної енергетики великого масштабу	Вітропарки, великі СЕС, агроенергетичні комплекси
Східний	Металургія, хімічна промисловість, машинобудування, теплова енергетика	Скорочення частки вуглецево-інтенсивних виробництв; модернізація металургії; впровадження систем очищення викидів	Промислова енергоефективність, локальні СЕС, проєкти з декарбонізації металургії
Північний	Лісове господарство, аграрний сектор, харчова промисловість	Формування локальних «зелених» вузлів; впровадження біоенергетики; розвиток малих СЕС	Переробка відходів, біоенергетика, комунальні проєкти з енергоефективності

Джерело: сформовано авторами на основі (Снігова, 2024; Декарбонізація української енергетики, 2022; Хожило, 2024)

ристування з великою часткою переробних секторів, а також діяльність у сфері послуг (Національний комплексний звіт, 2025).

Протягом останніх років, під впливом світових кліматичних викликів, упровадження європейських екологічних норм та зростання значення відновлюваної енергетики, у системі територіальних економік

помітні структурні зрушення. Так, у промислово-спрямованих теренах частка вуглецево-інтенсивних галузей у ВРП поступово зменшується, а частка технологій з меншим екологічним тиском – збільшується. Цей перебіг є особливо помітним у східних та західних макрорегіонах, де відбувається розподіл секторів на користь виробництв

з меншими викидами та засвоєння ресурсо-ефективних виробничих підходів (Дороніна і Тюрін, 2025).

Одним із головних показників трансформації є розвиток відновлюваної енергетики. Західні регіони демонструють суттєвий приріст збудованих потужностей сонячних електростанцій (СЕС) та біоенергетичних установок. (Скільки домашніх сонячних електростанцій вже встановлено в Україні, 2026).

Також відзначається зростання ролі екологічно орієнтованих виробництв у таких галузях, як: обробка деревини з використанням ресурсоефективних технологій; виробництво органічної та переробленої агропродукції; виробництво екотекстилю та біорозкладних матеріалів; комплексна переробка відходів у промисловому та побутовому секторах. У промислових осередках, де панує важкий сектор, відбувається модернізація технологічних ланцюгів: запровадження енергоефективного устаткування; перехід на технології утилізації відходів, що зменшують викиди в атмосферу; використання цифрових рішень для оптимізації виробничих процесів.

Структурні зміни відображають системний зсув економіки територій у напрямку декарбонізації та екологізації. Вони не лише зменшують вуглецевий слід господарської діяльності, а й утворюють передумови для формування конкурентоздатних «зелених» кластерів, залучення інвестицій у чисті технології та інтеграції територіальних економік до міжнародних екологічних норм (табл. 2).

Східний макрорегіон лишається найбільш вуглецево-інтенсивним, проте саме тут структурні зрушення мають стратегічне значення – модернізація важкої промисловості визначає потенціал зменшення національних викидів. Південний регіон трансформується крізь масштабні проекти відновлюваної енергетики, що змінює енергетичний склад регіону. Західний та центральний макрорегіони демонструють більш диверсифіковану модель зеленого перетворення з акцентом на МСБ та децентралізоване виробництво. Північний регіон відзначається локальною екологізацією виготовлення та розвитком ресурсощадних технологій у лісовому й аграрному секторах.

Регіональне екологізування економіки значною мірою залежить від бюджетної політики на місцевому рівні. Відповідно до висновків (Петруха та ін. 2020), фінансова децентралізація створює передумови для активізації регуляторного потенціалу гро-

мад, що в умовах декарбонізації набуває стратегічного значіння.

З огляду на зелену трансформацію регіональної економіки, домогосподарські СЕС виконують одразу кілька стратегічних функцій.

По-перше, вони формують розподілену модель генерації. По-друге, понад 1,5 ГВт встановленої потужності це фактично еквівалент роботи кількох середніх електростанцій.

По-третє, масове встановлення СЕС у приватному секторі створює мультиплікативний економічний ефект:

- розвиток локального ринку монтажу та сервісу;

- зростання попиту на інвертори, акумулятори, системи зберігання енергії;

- формування регіональних «зелених» кластерів навколо енергосервісних компаній;

- збільшення інвестиційної активності малого та середнього бізнесу.

Кількість сонячних електростанцій (СЕС), встановлених у приватних домогосподарствах в Україні, становить 51969 одиниць, а їхня загальна потужність вже перевищує 1,5 ГВт. (рис. 1).

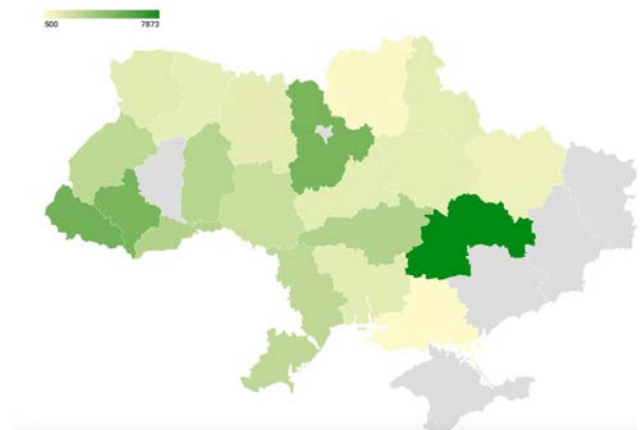


Рис. 1. Сонячні електростанції приватних домогосподарств в регіонах України, шт.

Джерело: (Скільки домашніх сонячних електростанцій)

У просторовому аспекті домашні СЕС зменшують диспропорції між макрорегіонами. Якщо раніше головні потужності ВДЕ концентрувалися переважно у південних областях (великі СЕС і вітропарки), то зараз відбувається територіальне розосередження зеленої генерації – активне зростання спостерігається у західних, центральних і північних регіонах (див. рис. 1).

У південному макрореґіоні зосереджено найбільші потужності ВДЕ в Україні: понад 2600 МВт у великих та середніх проєктах (оцінка на основі загального розподілу по областях Дніпропетровська, Херсонська, Миколаївська та сусідніх), оскільки саме тут сонячна інсоляція і кліматичні умови є найбільш сприятливими для великих СЕС та вітрових установок.

Отже, сучасний стан зеленої трансформації регіональної економіки України характеризується асиметричною динамікою, поєднанням централізованих і децентралізованих моделей генерації, а також поступовим переходом від індустріально-ресурсної до кліматично орієнтованої моделі розвитку. Аналіз цих процесів у розрізі макрореґіонів

дає змогу оцінити рівень структурної адаптації територій до вимог сталого розвитку та визначити пріоритети подальшої модернізації національної економіки.

На рис. 3 наведені обсяги капітальних впливань у зелені технології по кожному макрореґіону на початок 2025 р. Це включає:

- інвестиції у сонячні електростанції (СЕС) і вітроенергетику;
- ресурси на енергоефективні модернізації підприємств;
- приватні та міжнародні програми підтримки відновлюваної енергетики;
- регіональні «зелені» фонди та гранти.

Частка ВДЕ у виробництві електрики збільшується у всіх макрореґіонах, проте

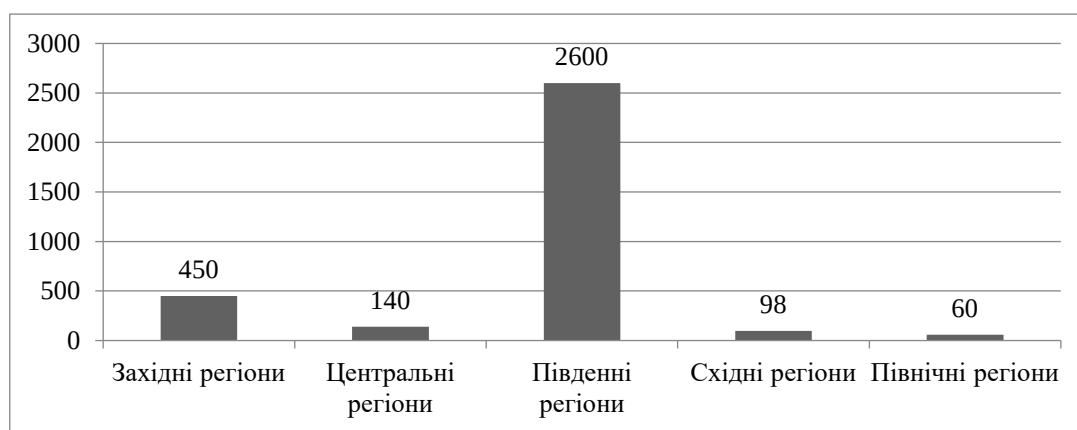


Рис. 2. Загальна потужність ВДЕ на початок 2025 р., МВт

Джерело: побудовано авторами на основі (У 2025 році в Україні побудовано, 2025)

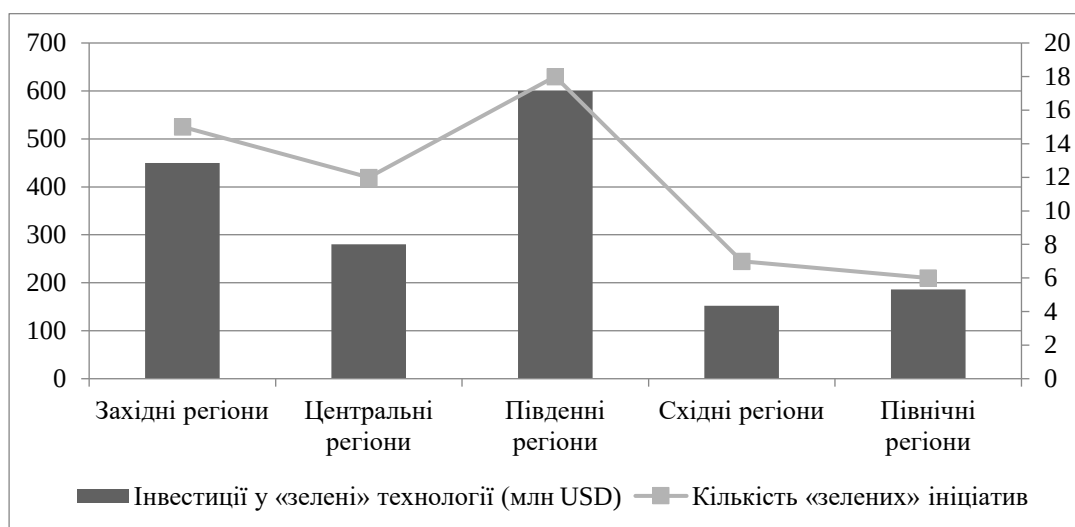


Рис. 3. Інвестиції у «зелені» технології та кількість екологічних кластерів/ініціатив по макрореґіонах України

Джерело: побудовано авторами на основі (Відновлювальні джерела енергії в Україні, 2025; Інвестицій у «зелені» технології, 2026)

темпи зростання та потенційні межі різняться залежно від природно-кліматичних та інвестиційних умов (рис. 4).

Зелена трансформація регіональної економіки України відбувається в умовах суттєвої просторової нерівномірності розвитку, що проявляється у відмінностях галузевої структури, концентрації енергоємних виробництв, рівні інвестиційної активності та екологічному навантаженні. Просторові диспропорції формуються історичною спеціалізацією регіонів, ресурсною базою, інфраструктурною забезпеченістю та різною інституційною спроможністю територіальних громад (Колодійчук і Куртяк, 2024).

Найбільший рівень екологічного тиску традиційно сконцентрований у східних та частково центральних промислових областях, де домінують металургія, хімічна сфера, машинобудування та теплоенергетика. Натомість південні терени охоплюють скупчення великих установ відновлюваної енергетики (Зелена трансформація, 2024). Західні регіони являють собою більш різноманітний зразок зеленої трансформації. Північні регіони формують переважно місцеві «зелені центри»: приватні СЕС, комунальні ініціативи з енергоефективності, утилізацію відходів та біоенергетику.

Таким чином, екологічна диференціація території України проявляється у:

- різній концентрації промислових і енергетичних потужностей;
- неоднаковому рівні викидів та антропогенного навантаження;
- асиметрії інвестицій у «зелені» технології;

– варіативності частки ВДЕ в енергетичному балансі регіонів.

Просторовий розвиток економіки України історично формувалася за моделлю територіальної спеціалізації, що зумовило концентрацію енергоємних і екологічно небезпечних виробництв у окремих індустріальних вузлах. Унаслідок цього сформувалася виражена екологічна диференціація території, яка проявляється у різному рівні техногенного тиску, щільності викидів, деградації земель і водних ресурсів (Костенко, 2026). Аналіз галузевої структури, просторового розміщення підприємств та енергетичних об'єктів дозволяє виокремити зони підвищеного антропогенного навантаження та встановити характер регіональних диспропорцій (табл. 3).

Найвищий ступінь людського впливу сконцентрований у східних промислових областях, що утворює значну екологічну різницю терену держави. Середні та південні макрорегіони мають змішаний різновид впливу – поєднання виробничих та сільськогосподарських чинників. Західні та північні краї характеризуються меншим рівнем техногенного тиску, проте потребують сталої розпорядження природними здобутками (Строкаль, 2020). Просторові диспропорції в екологічному стані безпосередньо корелюють з історичною спеціалізацією регіонів і структурою ВРП.

Скупчення аграрного капіталу утворює нерівномірний територіальний розподіл ресурсного тягаря, що посилює екологічну розбіжність ділянок. Саме згуртовані кор-

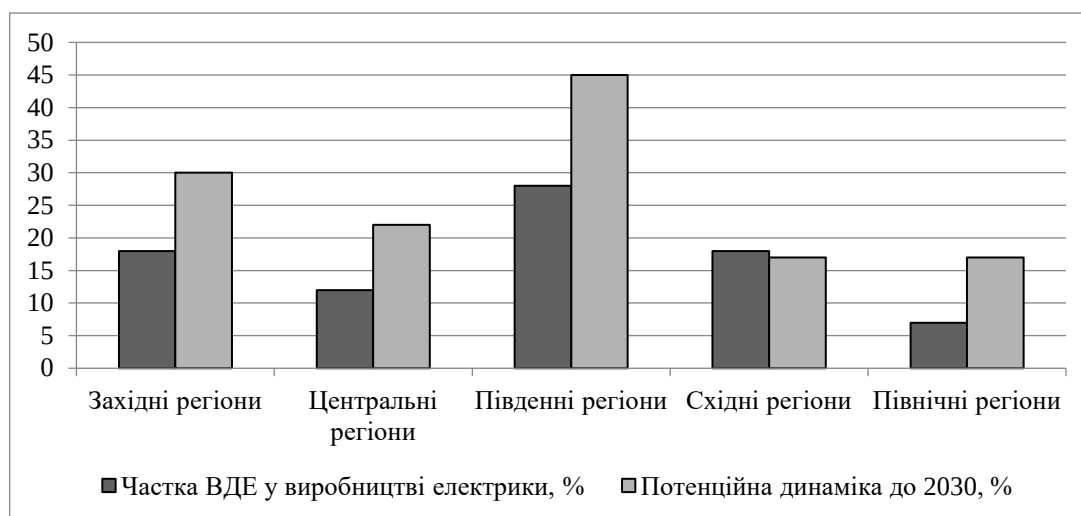


Рис. 4. Частка ВДЕ у загальному енергетичному балансі регіонів (станом на 2024)
Джерело: побудовано авторами на основі (Відновлювальні джерела енергії в Україні, 2025)

Таблиця 3

Просторові диспропорції та зони підвищеного антропогенного навантаження в Україні

Макрорегіон	Тип антропогенного навантаження	Рівень навантаження	Просторові особливості
Східний	Концентроване промислове	Дуже високий	Індустріальні агломерації з високою щільністю великих підприємств
Центральний	Промислово-аграрне	Високий	Вузлові промислові центри на тлі аграрних територій
Південний	Агроенергетичне	Середньо-високий	Прибережні зони з концентрацією ВДЕ та логістики
Північний	Ресурсно-аграрне	Середній	Локальні промислові вузли, значні природні масиви
Західний	Диверсифіковане	Низько-середній	Розосереджена структура виробництва

Джерело: сформовано та доповнено авторами на основі (Savenets et al., 2023; Букреева та ін., 2023; Строкаль, 2020)

поративні формування стають головними чинниками як нарощування застосування природних запасів, так і можливого екологізації виготовлення. Як відзначають Н. М. Петруха та С. В. Петруха (Петруха і Петруха, 2020), дієвість структурних змін сільської економіки визначається не лише ринковими важелями, а й рівнем державного управління злитим корпоративним об'єднанням. За нинішніх умов зеленого перетворення це набуває свіжого значення, оскільки саме ці структури створюють просторовий зразок екологічного тягара у сільськогосподарських краях.

Таким чином, визначення зон підвищеного антропогенного навантаження дозволяє сформувати адресну регіональну політику декарбонізації, спрямовану на зменшення екологічних ризиків і вирівнювання просторових диспропорцій розвитку.

Обговорення

Стратегічні напрями поглиблення зеленої трансформації не можуть формуватися за універсальною моделлю, однаковою для всіх територій. Географічна неоднорідність економічного простору зумовлює потребу в диференційованому підході, де враховуються ресурсна база регіону, структура господарського комплексу, демографічні особливості, рівень інфраструктурного розвитку та екологічні ризики. Саме тому наступним логічним етапом дослідження є визначення стратегічних векторів, здатних забезпечити системне та просторово збалансоване поглиблення зеленої трансформації (Колодійчук і Куртяк, 2024).

Стратегічні напрями поглиблення зеленої трансформації регіональної економіки України з урахуванням географічного виміру представлено у табл. 4. Вона відо-

бражає, які заходи та інструменти політики доцільно застосовувати у різних макрорегіонах для зменшення вуглецевого навантаження, розвитку відновлюваної енергетики, формування «зелених» кластерів, інтеграції принципів циркулярної економіки та сприяння міжрегіональному і транскордонному співробітництву (Savenets et al., 2023). Такий підхід дозволяє виявити території з пріоритетними потребами та спрогнозувати ефективність реалізації зеленої модернізації на національному рівні.

Розроблення ефективної регіональної політики зеленої трансформації потребує систематизації стратегічних рішень відповідно до географічної диференціації територій. Просторова неоднорідність економічного розвитку, природно-ресурсного потенціалу та екологічного навантаження зумовлює необхідність адаптації інструментів державного регулювання до специфіки кожного типу регіону (Марченко, 2024). Узагальнення рекомендацій у табличній формі дозволяє структуровано відобразити взаємозв'язок між географічними особливостями території, ключовими викликами, стратегічними пріоритетами та механізмами їх реалізації. Такий підхід забезпечує аналітичну цілісність дослідження та підвищує практичну придатність запропонованих заходів для формування регіональної політики сталого розвитку (табл. 5).

У викладі повоєнної відбудови сільські територіальні громади мають братися до уваги як фундаментальні осередки формування «зелених» кластерів, що поєднують виробництво, переробку та логістику агропродовольчих товарів з метою утворення територіальної доданої вартості (Petrukha et al., 2022).

Таблиця 4

Стратегічні напрями зеленої трансформації регіонів України

Напрямок	Географічний контекст	Основні заходи	Очікуваний ефект
Формування регіональної політики декарбонізації	Західні, Центральні, Східні макрорегіони	Встановлення цільових показників викидів CO ₂ , стимулювання ВДЕ, регіональні програми підтримки енергоефективності	Вирівнювання рівня декарбонізації, зменшення диспропорцій між регіонами
Просторове планування та розвиток екологічної інфраструктури	Всі регіони, особливо промислові східні та південні	Планування розміщення СЕС/ВЕС, розвиток екологічного транспорту, зони низького антропогенного навантаження	Оптимізація територіального використання ресурсів, зниження екологічного тиску
Підтримка інноваційних «зелених» кластерів	Західні та Центральні регіони	Формування кластерів ВДЕ, біоенергетики, енергоефективного виробництва	Прискорення економічного зростання, поширення «зелених» технологій
Інтеграція принципів циркулярної економіки	Всі регіони	Переробка відходів, повторне використання ресурсів, впровадження екотехнологій у промисловості та АПК	Зменшення вуглецевого навантаження, підвищення ефективності ресурсокористування
Розвиток міжрегіонального та транскордонного співробітництва	Прикордонні та транскордонні регіони	Спільні проекти ВДЕ, обмін технологіями, координація екологічних програм	Оптимізація ресурсів, масштабування зеленої трансформації, зниження локального навантаження

Джерело: авторська розробка

Таблиця 5

Формування регіональної політики зеленої трансформації з урахуванням географічної специфіки

Географічний тип території	Ключові виклики	Стратегічні пріоритети	Інструменти реалізації
Індустріальні регіони	Високий рівень викидів CO ₂ , зношена інфраструктура, енергоємне виробництво	Декарбонізація промисловості, модернізація технологій, розвиток циркулярної економіки	Податкові стимули для «зелених» інвестицій; індустріальні парки із замкненим циклом; вуглецевий аудит підприємств
Аграрні території	Деградація ґрунтів, кліматичні ризики, низька додана вартість продукції	Органічне виробництво, біоенергетика, водозберігаючі технології	Дотації на органічне землеробство; розвиток біогазових установок; агроекологічний моніторинг
Урбанізовані центри	Транспортні викиди, ефект «теплових островів», високе споживання енергії	Стала мобільність, енергоефективне будівництво, зелена інфраструктура	Розвиток електротранспорту; термомодернізація будівель; створення зелених зон
Прибережні та водні регіони	Підвищення рівня води, ерозія берегів, екологічна вразливість	Кліматична адаптація, відновлення екосистем, розвиток вітроенергетики	Берегоукріплювальні проекти; відновлення водно-болотних угідь; інвестиції у ВДЕ
Гірські та рекреаційні території	Обмеженість транспортної інфраструктури, ризик деградації ландшафтів	Розвиток екотуризму, мала гідроенергетика (з дотриманням стандартів), збереження біорізноманіття	Підтримка зеленого туризму; екологічна сертифікація; програми охорони природних ресурсів

Джерело: авторська розробка

Таким чином, екологічна диференціація території України визначає різні стартові умови, темпи та глибину зеленої трансформації регіональних економік. Просторово орієнтований підхід дозволяє перейти від

уніфікованих рішень до адресних механізмів державного регулювання, що враховують галузеву спеціалізацію, рівень антропогенного навантаження та інституційну спроможність кожного макрорегіону. Саме

така диференційована модель регіональної політики здатна забезпечити зниження екологічних ризиків, скорочення міжрегіональних диспропорцій та формування збалансованої системи сталого розвитку України.

Висновки

Зелена трансформація регіонального господарства охоплює виробничу, енергетичну, інфраструктурну та соціальну підсистеми територіального зростання. Географічний вимір зеленої трансформації визначає її темпи, глибину та інструментарій реалізації. Просторова диференціація природно-ресурсного потенціалу, рівня індустріалізації, густини населення та екологічного тягаря утворює неоднакові початкові умови для регіонів.

Оцінка просторових нерівностей екологічного тягаря доводить, що зелений перехід має здійснюватися на базі територіальної диференціації урядування. Цільове спрямування засобів – фіскальних заохочень, вкладень, об'єктів спорудження, методів допомоги «зеленим» осередкам – гарантує найкраще розподілення коштів та змен-

шення суспільно-господарських небезпек. Ба більше, злиття територіальних планів у державну та європейську екологічну доктрину посилює сукупний результат трансформаційних зрушень.

У стратегічній перспективі зелена трансформація регіональної економіки повинна розглядатися як чинник підвищення територіальної конкурентоспроможності, диверсифікації виробничої структури та зміцнення соціальної стійкості. Вона створює передумови для формування нових точок економічного зростання – відновлюваної енергетики, циркулярної економіки, екологічного туризму, біотехнологій та «зеленого» машинобудування.

Отже, географічний вимір виступає системоутворювальним елементом зеленої трансформації регіональної економіки. Саме врахування просторової специфіки територій забезпечує перехід від декларативних екологічних намірів до реальних структурних змін, спрямованих на формування збалансованої, низьковуглецевої та конкурентоспроможної моделі розвитку регіонів.

Список використаної літератури

Букресєва Д., Коваленко Т., Манукян А. «Зелені» стратегії для сталого розвитку підприємства та підвищення ефективності його діяльності. *Економіка та суспільство*. 2023. № 56. [Електронний ресурс]. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-121> (дата звернення 27.02.2026).

Відновлювальні джерела енергії в Україні: що змінилось у 2025 році? 2025. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ifec.org.ua/vidnovlyuvalni-dzherela-energiyi-v-ukrayini-shho-zminylos-u-2025-rozci/> (дата звернення 27.02.2026)

Горбач А. Концептуальні засади розвитку зеленої економіки в регіоні за умов системних трансформацій та глобальних змін. *Київський економічний науковий журнал*. 2024. №7. С. 186–195. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2024-7-25>.

Декарбонізація української енергетики (економіки): вплив російської агресії, амбітні цілі та потенційні можливості для України в післявоєнний період. Київ. Центр Разумкова. 2022. 186 с. [Електронний ресурс]. URL: <https://razumkov.org.ua/images/2022/10/26/2022-Decarbonisation.pdf> (дата звернення 27.02.2026).

Дороніна О. Тюрін Є. Дизайнвання економічного простору регіону на засадах зеленої економіки. *Економіка і організація управління*. 2025. С. 118–128. DOI: <https://doi.org/10.31558/2307-2318.2024.4.12>.

Зелена трансформація: як громади з усієї України реалізують зелені проекти під час війни. 2024. [Електронний ресурс]. URL: <https://ukraine-oss.com/zelena-transformacziya-yak-gromady-z-usiyei-ukrayiny-realizovuyut-zeleni-proyekty-pid-chas-vijny/> (дата звернення 27.02.2026).

Інвестицій у «зелені» технології зросли до рекордних \$2,3 трлн. 2026. [Електронний ресурс]. URL: <https://minfin.com.ua/ua/2026/01/26/166997406/> (дата звернення 27.02.2026).

Колодійчук І. А., Куртяк М. Б. Соціально-економічні передумови переходу до зеленої економіки в регіонах України. *Регіональна економіка*. 2024. №2(112). С. 67–75. DOI: <https://doi.org/10.36818/1562-0905-2024-2-6>.

Костенко В. А. Методологічні підходи до оцінки зеленої економіки регіонів в умовах сучасних трансформацій. *Актуальні проблеми сталого розвитку*. 2026. Том 3, № 2. С. 123–130. [https://doi.org/10.60022/3\(2\)-15S](https://doi.org/10.60022/3(2)-15S).

Марченко О.Ю. Ключові напрями «зеленої» трансформації економіки регіонів в період повоєнної відбудови України. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського*. 2024. Том 35 (74). № 1. С. 66–72. DOI: <https://doi.org/10.32782/2523-4803/74-1-11>.

Національний комплексний звіт з оцінки зеленої трансформації для України. 2025. [Електронний ресурс]. URL: <https://green-agenda.org/storage/public/LTGfGlXgyBMxGmKA96Y9VV3ijajqUt-metaVWtyLUV4ZWN1dGl2ZSBzdW1tYXJ5LVVLUi1XZWlglKDEpLnBkZg==-.pdf> (дата звернення 27.02.2026).

Петруха Н. М., Петруха С. В. Державне регулювання інтегрованих корпоративних об'єднань в умовах структурно-інституціональної та функціональної трансформації сільської економіки: проблеми методології, теорії, соціально-економічної та секторальної політики : монографія. Київ : ТОВ «Видавничий дім «Професіонал», 2020. 496 с. 120 с. [Електронний ресурс]. URL: https://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/drikob.pdf (дата звернення 27.02.2026).

Петруха С. В., Палійчук Т. В., Петруха Н. М. Місцеві фінанси в умовах коронакризи: нова бюджетна архітектура та фінансова спроможність регуляції секторальних і соціально-економічних процесів. *Фінанси України*. 2020. № 12. С. 83–105. DOI: <https://doi.org/10.33763/finukr2020.12.083>.

Петруха С. В., Петруха Н. М., Демидьонко І. А., Тарасенко М. І. Децентралізація та сталий розвиток сільських територій: довоєнне координування систем прийняття кластерних рішень. Інноваційно-інвестиційний механізм забезпечення конкуренто-спроможності країни. Львів-Торунь : Ліга-Прес, 2022. С. 22–56. DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-255-8-2>.

Скільки домашніх сонячних електростанцій вже встановлено в Україні. [Електронний ресурс]. URL: <https://ecopolitic.com.ua/en/news/how-many-home-solar-power-plants-have-already-been-installed-in-ukraine/> (дата звернення 27.02.2026).

Снігова О. Ю. Вугільні громади як території з особливими умовами для розвитку: створення точок зростання в процесі декарбонізації. *Регіональна економіка*. 2024. №4(114). С. 30-38. DOI: <https://doi.org/10.36818/1562-0905-2024-4-4>

Строкаль В.П. Антропогенне навантаження на стан водних та земельних ресурсів: проблеми локальних територій України. *Збалансоване природокористування*. 2020. № 2. С. 119-128. URL: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2020.208822> (дата звернення 27.02.2026).

У 2025 році в Україні побудовано 324 МВт нових ВЕС проти 248 МВт за два попередні роки – голова УБЕА. 2025. [Електронний ресурс]. URL: <https://reform.energy/news/u-2025-rotsi-v-ukraini-pobudovano-324-mvt-novikh-ves-proti-248-mvt-za-dva-poperedni-roki-golova-ubea-24092> (дата звернення 27.02.2026).

Хожило М. Е. Зелена трансформація суспільства як сучасний пріоритет державної політики: проблеми та перспективи України. *Державне будівництво*. 2024. № 1 (35). С. 45–54. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-2337-2024-1-03>.

Agan B. Sustainable development through green transition in EU countries: New evidence from panel quantile regression. *Journal of Environmental Management*. 2024. Volume 365. 121545. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121545>

Castaldi C., Abbasiharofteh M., Petralia S. European regions transitioning to green markets: the role of related capabilities and public procurement policies. *Research Policy*. 2026. Volume 55, Issue 2. 105374. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2025.105374>

Chang K., Liu L., Luo D., Xing K. The impact of green technology innovation on carbon dioxide emissions: The role of local environmental regulations. *Journal of Environmental Management*. 2023. Volume 340. 117990. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117990>

Demirel P., Martinez-Ros E., Quatraro F. Innovation for the green transition: challenges and future perspectives. *Eurasian Bus Rev*. 2025. Volume 15. pp. 631–645. <https://doi.org/10.1007/s40821-025-00322-w>

Donoso Salas J. I., Tharaux M. How can regions attract and retain the talent needed for the green transition? OECD Regional Development Papers. OECD 2026. 51. [Електронний ресурс]. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2026/02/how-can-regions-attract-and-retain-the-talent-needed-for-their-green-transition_b57c23a8/fc604906-en.pdf (дата звернення 27.02.2026).

Petrukha S., Petrukha N., Alekseenko N., Mazur A., Maltsev M. The post-war potential and regulatory capacity of rural territorial communities in the clustering and integrating agri-food chains of local added value creation. Modern foundations of economics, management and tourism. Boston : International Science Group. Primedia eLaunch, 2022. P. 96–126. DOI: <https://doi.org/10.46299/ISG.2022.MONO.ECON.4.3.1>.

Ritter S., Royuela V. The Geography of the Green Transition: Performance, Vulnerabilities and Opportunities. Institut de Recerca en Economia Aplicada Regional i Pública. 2026.01. 55. URL: https://www.ub.edu/irea/working_papers/2026/202602.pdf (дата звернення 27.02.2026).

Savenets M., Osadchyi V., Komisar K., Zhemera N., Oreshchenko A. Remotely visible impacts on air quality after a year-round full-scale Russian invasion of Ukraine. *Atmospheric Pollution Research*. 2023. Volume 14, Issue 11.101912. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.101912>

Ullah A., Nobanee H., Ullah S., Iftikhar H. Renewable energy transition and regional integration: Energizing the pathway to sustainable development. *Energy Policy*. 2024. Volume 193. 114270. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114270>

Valache-Dăringă A.-A., Ciurea M., Popescu M. A Bibliometric Perspective of the Green Transition Within the Framework of Sustainable Development. *World*. 2025. Volume 6(4). 140. <https://doi.org/10.3390/world6040140>

References

Bukreieva, D., Kovalenko, T., & Manukian, A. (2023). «Zeleni» stratehii dlia staloho rozvytku pidpriemstva ta pidvyshchennia efektyvnosti yoho diialnosti ["Green" strategies for sustainable development of the enterprise and increasing the efficiency of its activities]. *Ekonomika ta suspilstvo [Economy and society]*, 56. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-121> [in Ukrainian].

Vidnovliuvalni dzherela enerhii v Ukraini: shcho zminylos u 2025 rotsi? [Renewable energy sources in Ukraine: what has changed in 2025?] (2025). Electronic resource]. URL: <https://www.ifec.org.ua/vidnovlyuvalni-dzherela-energiyi-v-ukrayini-shho-zminylos-u-2025-roci/> (access date 27.02.2026) [in Ukrainian]

Horbach, L. (2024). Kontseptualni zasady rozvytku zelenoi ekonomiky v rehioni za umov systemnykh transformatsii ta hlobalnykh zmin [Conceptual principles for the development of a green economy in the region under conditions of systemic transformations and global changes]. *Kyivskyi ekonomichnyi naukovi zhurnal [Kyiv Economic Scientific Journal]*, 7, 186-195. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2024-7-25> [in Ukrainian].

Dekarbonizatsiia ukraïnskoi enerhetyky (ekonomiky): vplyv rosiiskoi ahresii, ambitni tsili ta potentsiini mozhlyvosti dlia Ukrainy v pisliavoiennnyi period (2022). [Decarbonization of the Ukrainian energy sector (economy): the impact of Russian aggression, ambitious goals and potential opportunities for Ukraine in the post-war period]. Kyiv. Tsentr Razumkova. 186 s. [Electronic resource]. URL: <https://razumkov.org.ua/images/2022/10/26/2022-Decarbonisation.pdf> (access date 27.02.2026) [in Ukrainian].

Doronina, O. & Tiurin, Ye. (2025). Dyzainuvannia ekonomichnoho prostoru rehionu na zasadakh zelenoi ekonomiky [Designing the economic space of the region based on the principles of a green economy]. *Ekonomika i orhanizatsiia upravlinnia [Economics and management organization]*, 118-128. DOI: <https://doi.org/10.31558/2307-2318.2024.4.12> [in Ukrainian].

Zelena transformatsiia: yak hromady z usiiei Ukrainy realizovuiut zeleni proekty pid chas viiny [Green Transformation: How Communities Across Ukraine Are Implementing Green Projects During War]. 2024. [Electronic resource]. URL: <https://ukraine-oss.com/zelena-transformatsiia-yak-gromady-z-usiiei-ukrayiny-realizovuyut-zeleni-proyekty-pid-chas-viiny/> (access date 27.02.2026) [in Ukrainian].

Investytsii u «zeleni» tekhnolohii zrosly do rekordnykh \$2,3 trln [Investment in green technologies has grown to a record \$2.3 trillion]. 2026. [Electronic resource]. URL: <https://minfin.com.ua/ua/2026/01/26/166997406/> (access date 27.02.2026) [in Ukrainian].

Kolodiichuk, I. A., & Kurtiak, M. B. (2024). Sotsialno-ekonomichni peredumovy perekhodu do zelenoi ekonomiky v rehionakh Ukrainy [Socio-economic prerequisites for the transition to a green economy in the regions of Ukraine]. *Rehionalna ekonomika [Regional economy]*, 2(112), 67-75. DOI: <https://doi.org/10.36818/1562-0905-2024-2-6> [in Ukrainian].

Kostenko, V. A. (2026). Metodolohichni pidkhody do otsinky zelenoi ekonomiky rehioniv v umovakh suchasnykh transformatsii [Methodological approaches to assessing the green economy of regions in the context of modern transformations]. *Aktualni problemy staloho rozvytku [Current issues of sustainable development]*, 3(2), 123-130. DOI: 10.60022/3(2)-15S [in Ukrainian].

Marchenko, O.Yu. (2024). Kliuchovi napriamy «zelenoi» transformatsii ekonomiky rehioniv v period povoiennoi vidbudovy Ukrainy [Key directions of the "green" transformation of the regional economy during the post-war reconstruction of Ukraine]. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho [Academic notes of V. I. Vernadsky TNU]*, 35 (74), 1, 66-72. DOI: <https://doi.org/10.32782/2523-4803/74-1-11> [in Ukrainian].

Natsionalnyi kompleksnyi zvit z otsinky zelenoi transformatsii dlia Ukrainy [National Comprehensive Green Transformation Assessment Report for Ukraine]. 2025. [Electronic resource].

URL: <https://green-agenda.org/storage/public/LTGfGIxgyBMxGmKA96Y9VV3ijajqUt-metaVWtyLUV4ZWN1dG12ZSBzdW1tYXJ5LVVLUi1XZWlIgKDEpLnBkZg==-.pdf> (access date 27.02.2026) [in Ukrainian].

Petrukha, N. M., & Petrukha, S. V. (2020). Derzhavne rehuliuвання integrovanykh korporatyvnykh ob'ednan v umovakh strukturno-instytutsionalnoi ta funktsionalnoi transformatsii sil'skoi ekonomiky: problemy metodolohii, teorii, sotsialno-ekonomichnoi ta sektoralnoi polityky [State regulation of integrated corporate associations in the context of structural, institutional and functional transformation of the rural economy: problems of methodology, theory, socio-economic and sectoral policy]: monohrafiia. Kyiv : TOV «Vydavnychiy dim «Profesional», 496, 120. [Electronic resource]. URL: https://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/drikob.pdf (access date 27.02.2026) [in Ukrainian].

Petrukha, S. V., Paliichuk, T. V., & Petrukha, N. M. (2020). Mistsevi finansy v umovakh koronakryzy: nova biudzhethna arkhitektonika ta finansova spromozhnist rehuliatsii sektoralnykh i sotsialno-ekonomichnykh protsesiv [Local finances in the context of the corona crisis: new budget architecture and financial capacity for regulating sectoral and socio-economic processes]. *Finansy Ukrainy [Finance of Ukraine]*, 12, 83–105. DOI: <https://doi.org/10.33763/finukr2020.12.083> [in Ukrainian].

Petrukha, S. V., Petrukha, N. M., Demydonok, I. A., & Tarasenko, M. I. (2022). Detsentralizatsiia ta stalnyi rozvytok sil'skykh terytorii: dovoienne koordynuvannya system pryiniattia klasternykh rishen. Innovatsiino-investytsiinyi mekhanizm zabezpechennia konkurento-spromozhnosti krainy [Decentralization and sustainable development of rural areas: pre-war coordination of cluster decision-making systems. Innovation and investment mechanism for ensuring the country's competitiveness.]. Lviv-Torun : Liha-Pres, 22–56. DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-255-8-2> [in Ukrainian].

Skilky domashnykh soniachnykh elektrostantsii vzhe vstanovleno v Ukraini [How many home solar power plants have already been installed in Ukraine?]. [Electronic resource]. URL: <https://ecopolitic.com.ua/en/news/how-many-home-solar-power-plants-have-already-been-installed-in-ukraine/> (access date 27.02.2026) [in Ukrainian].

Snihova, O. Yu. (2024). Vuhilni hromady yak terytorii z osoblyvymy umovamy dlia rozvytku: stvorennia tochok zrostannia v protsesi dekarbonizatsii [Coal communities as territories with special conditions for development: creating growth points in the process of decarbonization]. *Rehionalna ekonomika [Regional economy]*, 4(114), 30–38. DOI: <https://doi.org/10.36818/1562-0905-2024-4-4> [in Ukrainian].

Strokal, V.P. (2020). Antropohenne navantazhennia na stan vodnykh ta zemelnykh resursiv: problemy lokalnykh terytorii Ukrainy [Anthropogenic pressure on the state of water and land resources: problems of local territories of Ukraine]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannya [Sustainable use of nature]*, 2, 119–128. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2020.208822> [in Ukrainian].

U 2025 rotsi v Ukraini pobudovano 324 MVt novykh VES proty 248 MVt za dva poperedni roky – holova UVEA [In 2025, 324 MW of new wind power plants will be built in Ukraine, compared to 248 MW in the previous two years – Head of the UWEA]. 2025. [Electronic resource]. URL: <https://reform.energy/news/u-2025-rotsi-v-ukraini-pobudovano-324-mvt-novykh-ves-proti-248-mvt-za-dva-poperedni-roki-golova-uvea-24092> (access date 27.02.2026) [in Ukrainian].

Khozhylo, M. E. (2024). Zelena transformatsiia suspilstva yak suchasnyi priorytet derzhavnoi polityky: problemy ta perspektyvy Ukrainy [Green transformation of society as a modern priority of state policy: problems and prospects of Ukraine]. *Derzhavne budivnytstvo [Public construction]*, 1 (35), 45–54. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-2337-2024-1-03> [in Ukrainian].

Agan, B. (2024). Sustainable development through green transition in EU countries: New evidence from panel quantile regression. *Journal of Environmental Management*, 365, 121545. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121545> [in English].

Castaldi, C., Abbasiharofteh, M., & Petralia, S. (2026). European regions transitioning to green markets: the role of related capabilities and public procurement policies. *Research Policy*, 559(2), 105374. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2025.105374> [in English].

Chang, K., Liu, L., Luo, D., & Xing, K. (2023). The impact of green technology innovation on carbon dioxide emissions: The role of local environmental regulations. *Journal of Environmental Management*, 340, 117990. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117990> [in English].

Demirel, P., Martinez-Ros, E., & Quatraro, F. (2025). Innovation for the green transition: challenges and future perspectives. *Eurasian Bus Rev*, 15, 631–645. <https://doi.org/10.1007/s40821-025-00322-w> [in English].

Donoso Salas, J. I., & Tharaux, M. (2026). How can regions attract and retain the talent needed for the green transition? OECD Regional Development Papers. OECD 2026, 51. [Electronic resource]. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2026/02/how-can-regions-attract-and-retain-the-talent-needed-for-their-green-transition_b57c23a8/fc604906-en.pdf (access date 27.02.2026) [in English].

Petrukha, S., Petrukha, N., Alekseienco, N., Mazur, A., & Maltsev, M. (2022). The post-war potential and regulatory capacity of rural territorial communities in the clustering and integrating agri-food chains of local added value creation. Modern foundations of economics, management and tourism. Boston : International Science Group. Primedia eLaunch, 96–126. <https://doi.org/10.46299/ISG.2022.MONO.ECON.4.3.1> [in English].

Ritter, S., & Royuela, V. (2026). The Geography of the Green Transition: Performance, Vulnerabilities and Opportunities. Institut de Recerca en Economia Aplicada Regional i Pública, 01. 55. [Electronic resource]. URL: https://www.ub.edu/irea/working_papers/2026/202602.pdf (access date 27.02.2026) [in English].

Savenets, M., Osadchyi, V., Komisar, K., Zhemera, N., & Oreshchenko, A. (2023). Remotely visible impacts on air quality after a year-round full-scale Russian invasion of Ukraine. *Atmospheric Pollution Research*, 14(11), 101912. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.101912> [in English].

Ullah, A., Nobanee, H., Ullah, S., & Iftikhar, H. (2024). Renewable energy transition and regional integration: Energizing the pathway to sustainable development. *Energy Policy*, 193, 114270. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114270> [in English].

Valache-Dăringă, A.-A., Ciurea, M., & Popescu, M. (2025). A Bibliometric Perspective of the Green Transition Within the Framework of Sustainable Development. *World*, 6(4), 140. <https://doi.org/10.3390/world6040140> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 03.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 25.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 16
Український журнал природничих наук
№ 16

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 631.4:004.9:528.8

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.13>

ҐРУНТОВІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ҐРУНТОВИМИ РЕСУРСАМИ НА ОСНОВІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ, ПРОСТОРОВОЇ СТАТИСТИКИ ТА ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Т. С. Ямелинець¹, З. П. Паньків², І. Я. Папіш³, Ю. І. Наконечний⁴

У статті обґрунтовано концептуальний проект сучасної регіональної ґрунтової інформаційної системи як базової одиниці інформаційного ґрунтознавства. Автор розглядає перехід від статичних баз даних до інтелектуальних систем, де ключову роль відіграють географічні інформаційні системи та дані дистанційного зондування. Встановлено, що системна інтеграція результатів польових обстежень із супутниковими даними Sentinel та Landsat дозволяє значно підвищити точність картографування ґрунтових ресурсів. Особливу увагу приділено застосуванню методів математичної статистики та алгоритмів машинного навчання для предиктивного моделювання властивостей ґрунтів. Описано концепцію «ґрунтової системи координат» та «цифрового паспорту» об'єкта, що забезпечують логічну цілісність даних та їх відповідність міжнародним стандартам. Окремо проаналізовано механізми верифікації спектральних індексів за допомогою наземних спостережень, що забезпечує високу достовірність отриманих картографічних моделей. Запропонована архітектура дозволяє автоматизувати розрахунок деградаційних ризиків, інтегруючи просторову статистику безпосередньо в логіку управління земельними ресурсами. Використання хмарних обчислень та мережевих протоколів третього покоління створює пере-

¹ доктор географічних наук, професор,
професор кафедри ґрунтознавства і географії ґрунтів
(Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів)
e-mail: taras.yamelynets@lnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-7058-0931

² доктор географічних наук, професор,
завідувач кафедри ґрунтознавства і географії ґрунтів
(Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів)
e-mail: zynoviy.pankiv@lnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-6384-9541

³ доктор географічних наук, професор,
професор кафедри ґрунтознавства і географії ґрунтів
(Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів)
e-mail: ihor.papish@lnu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-5288-7481

⁴ кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри ґрунтознавства і географії ґрунтів
(Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів)
e-mail: yuriy.nakonechnyy@lnu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-5046-4397

думови для формування безперервного потоку актуальної інформації про якісний стан ґрунту безпосередньо з місця досліджень. Це дозволяє здійснювати оперативний генетичний аналіз і динамічну візуалізацію ґрунтових профілів у тривимірному просторі, що є критично важливим для моніторингу територій, які зазнали значних антропогенних та військових трансформацій. Результати дослідження спрямовані на створення «цифрового двійника» ґрунтового покриття для підтримки прийняття рішень у сфері сталого землекористування.

Ключові слова: земельні ресурси, класифікація ґрунтів, статистика, машинне навчання, геоінформаційні методи, цифровий двійник, морфогенетичні властивості ґрунту.

SOIL INFORMATION SYSTEMS AS A TOOL FOR INTEGRATED SOIL RESOURCE MANAGEMENT BASED ON GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, SPATIAL STATISTICS, AND REMOTE SENSING

T. S. Yamelynets, Z. P. Pankiv, I. Y. Papish, Y. I. Nakonechnyi

The article substantiates the conceptual design of a modern regional soil information system as a fundamental unit of informational soil science. The author examines the transition from static databases to intelligent systems, where geographic information systems and remote sensing data play a key role. It has been established that the systemic integration of field survey results with Sentinel and Landsat satellite data significantly improves the accuracy of soil resource mapping. Particular attention is paid to the application of mathematical statistics methods and machine learning algorithms for the predictive modeling of soil properties. The concepts of a "soil coordinate system" and an object's "digital passport" are described, ensuring logical data integrity and compliance with international standards. The mechanisms for verifying spectral indices using ground-based observations are separately analyzed, providing high reliability for the resulting cartographic models. The proposed architecture enables the automation of degradation risk calculations by integrating spatial statistics directly into land resource management logic. The use of cloud computing and third-generation network protocols creates the preconditions for a continuous flow of up-to-date information on soil quality directly from research sites. This allows for rapid genetic analysis and dynamic visualization of soil profiles in 3D space, which is critical for monitoring areas that have undergone significant anthropogenic and military transformations. The research results are aimed at creating a "digital twin" of the soil cover to support decision-making in the field of sustainable land use.

Key words: land resources, soil classification, statistics, machine learning, geoinformation methods, digital twin, morphogenetic soil properties.

Вступ

В умовах інтенсифікації аграрного виробництва та зростаючого антропогенного тиску на ландшафти, традиційні методи збору, систематизації та візуалізації ґрунтових даних вичерпали свій ліміт ефективності. Сучасне ґрунтознавство перебуває на етапі докорінної трансформації в інформаційну дисципліну, де ключовим завданням стає не просто архівування відомостей та збір даних, а створення інтелектуальних ґрунтових інформаційних систем (ГІС), здатних функціонувати як динамічні моделі природного середовища.

Проблема розробки та впровадження високотехнологічних ГІС має стратегічне значення, оскільки вони виступають фундаментом для реалізації концепцій точного землеробства та сталого управління земельними ресурсами. Відсутність цілісної, методологічно обґрунтованої інфраструктури

ґрунтових даних призводить до значних економічних втрат через некоректне планування агротехнічних заходів та несвоєчасне виявлення деградаційних процесів.

Особливої актуальності це питання набуває в контексті необхідності оперативного моніторингу морфогенетичних змін ґрунтового покриття під впливом кліматичних флуктуацій та фізичного руйнування ґрунтового тіла під дією антропогенного чинника, зокрема військових дій, що є надзвичайно актуальною проблемою для нашої країни. Системна інтеграція результатів польових обстежень, лабораторних аналізів та даних дистанційного зондування в межах єдиної цифрової платформи дозволяє перейти від описового до предиктивного ґрунтознавства.

Створення таких систем вимагає розробки нових підходів до семантичної формалізації даних, які б дозволили зберегти

генетичну сутність ґрунтових об'єктів у строгому цифровому середовищі реляційних баз даних. Важливим аспектом є також забезпечення інтероперабельності регіональних ґрунтових баз із міжнародними мережами обміну інформацією, що є обов'язковою умовою для інтеграції вітчизняної науки у глобальний науковий простір. Таким чином, розбудова інтелектуальних ґрунтових інформаційних систем є пріоритетним науково-практичним завданням, що забезпечує технологічний суверенітет та екологічну безпеку держави у довгостроковій перспективі.

Матеріал і методи

Сучасний стан розвитку ґрунтових інформаційних систем характеризується переходом від статичних баз даних до динамічних прогностичних моделей. Фундаментальний аналіз існуючих розробок дозволяє виділити кілька ключових напрямів, на яких базується архітектура сучасних ґрунтових інформаційних систем.

По-перше, визначальне значення мають дослідження П. Лахатер, А. Макбретні, М. Вольц, які сформували методологічний базис цифрового картографування ґрунтів. Автори обґрунтували використання допоміжних екологічних змінних (коваріат), таких як рельєф, вегетація та клімат, для просторового моделювання ґрунтових ознак (Lagacherie & McBratney, 2006; Lagacherie et al., 2006; Lagacherie et al., 2012). Також, цей напрям отримав значний розвиток завдяки працям Г. Прост, який у своїх останніх роботах досліджує методи глибокої інтеграції мультиспектральних даних у геологічні та ґрунтові географічні інформаційні системи. Його підхід базується на використанні алгоритмів автоматизованого аналізу зображень для виявлення морфогенетичних змін ґрунтового покриття під впливом кліматичних флуктуацій (Prost, 2025).

Вагомий внесок у розвиток інтероперабельності ґрунтових даних зробив Д. Россітер. Останні дослідження автора спрямовані на створення уніфікованих протоколів для ґрунтових інформаційних систем третього покоління (Rossiter, 2004; Rossiter, 2018). У цьому ж контексті надзвичайно актуальними є напрацювання Х. Вульф, К. Наїлі та М. Шепмен, які у своїх публікаціях довели ефективність поєднання хмарних обчислень Google Earth Engine з даними гіперспектрального зондування для предиктивного моделювання властивостей ґрунтів на великих територіях. Їхні моделі дозволя-

ють з високою точністю прогнозувати вміст органічного вуглецю та мінералогічний склад, що є критично важливим для семантичної формалізації ґрунтових інформаційних систем (Wulf et al., 2015; Naegeli et al., 2017; Li et al., 2020).

Також варто відзначити роль Р. Конгальтона, чий методичні розробки щодо оцінки точності дистанційних даних у ГІС дозволяють мінімізувати похибки при створенні цифрових ґрунтових моделей. Його праці фокусуються на верифікації результатів машинного навчання у ґрунтознавстві, що безпосередньо корелює з розробленою нами концепцією аксіоматичних об'єктів (Congalton, 1991; Congalton, 2001).

П'ятий напрям представлений роботами вітчизняних вчених, зокрема С. П. Позняка, В. В. Медведєва, С. А. Балюка, З. П. Паньківа, Г. І. Іванюк, І. Я. Папіша. У їхніх публікаціях розглядаються питання адаптації міжнародних стандартів до специфіки ґрунтового покриття України (Позняк, 2010; Позняк та ін., 2003; Позняк та ін., 2017; Позняк та ін., 2020; Pankiv et al., 2019; Ivanyuk et al., 2026). Також, варто зазначити, що власні дослідження фокусуються на методології проєктування ГрІС як базових одиниць інформаційного ґрунтознавства. У власних публікаціях ми обґрунтовуємо необхідність використання ґрунтової системи координат та аксіоматичних об'єктів для забезпечення логічної замкненості системи (Ямелинець, 2020а; Ямелинець, 2020b; Ямелинець, 2020с).

Окремим перспективним напрямом, що кардинально змінює архітектуру сучасних ГрІС, є впровадження методів глибокого машинного навчання (Deep Learning) для аналізу ґрунтових ареалів. Дослідження останніх років, зокрема праці С. Ченг та Д. Ванг, підтверджують, що використання нейронних мереж дозволяє автоматизувати розпізнавання генетичних горизонтів на основі цифрових профілів з точністю, яка раніше була доступна лише при візуальній експертизі, тобто під час польових морфологічних досліджень (Chen et al., 2022; Wang et al., 2023). Важливою технологічною перевагою проєктованої системи є використання хмарних архітектур, зокрема платформи Google Earth Engine, що дозволяє опрацьовувати масиви Big Data без залучення значних локальних серверних потужностей. Такий підхід забезпечує високу швидкість генерації цифрових ґрунтових карт навіть для значних за площею територій, що

раніше потребувало місяців польових обстежень. Інтеграція алгоритмів на базі Random Forest, що детально розглядається у роботах Т. Хенгла, М. Нусбаума та інших у контексті глобальних ґрунтових моделей, дозволяє верифікувати точність класифікації ґрунтових контурів із залученням статистичних методів крос-валідації, що мінімізує вплив людського фактору на етапі дешифрування (Hengl et al., 2015; Hengl et al., 2017; Hengl et al., 2018).

Сучасна ГрІС також повинна підтримувати архітектуру мікросервісів, де окремі аналітичні модулі можуть незалежно звертатися до ядра бази даних для виконання специфічних розрахунків, наприклад, оцінки вуглецевого ресурсу чи ризиків деградації. Використання відкритих API (Application Programming Interfaces), як це обґрунтовує Д. Падарян у своїй концепції цифрової педометрії, дозволяє системі динамічно взаємодіяти з мережами наземних сенсорів, уточнюючи моделі вологозабезпеченості ґрунтового профілю в реальному часі (Padarian et al., 2020). Такий рівень автоматизації робить ГрІС незамінним компонентом інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень в аграрному секторі та екологічному менеджменті. Важливим аспектом підсилення логічної структури є впровадження онтологічного підходу, де ґрунтові терміни та поняття пов'язані семантичними графами за принципами, запропонованими Д. Арояс, що значно полегшує пошук та обробку інформації в неструктурованих масивах Big Data (Arrouays et al., 2011; Chen et al., 2022).

Це забезпечує повну відповідність системи принципам відкритої науки, дозволяючи іншим дослідникам використовувати валідовані набори даних для глобальних порівняльних досліджень. Крім того, впровадження інструментів візуалізації на основі технологій доповненої реальності, що активно обговорюється у працях А. Грунді, дозволяє фахівцям проводити віртуальну діагностику ґрунтових розрізів, базуючись на тривимірних моделях, що зберігаються в базі (Grundy et al., 2020). Таким чином, інтелектуальна надбудова ґрунтових інформаційних систем трансформує її з пасивного цифрового сховища в активну експертну систему, здатну до самонавчання та постійного вдосконалення предиктивних моделей. Фінальним результатом такої інтеграції є створення «цифрового двійника» (так звані Digital Twin) ґрунтового

покриву регіону, який слугує еталоном для планування сталого землекористування та екологічного відновлення ландшафтів. Це забезпечує надійне наукове підґрунтя для переходу до нового технологічного укладу в ґрунтознавстві та суміжних галузях природокористування.

Таким чином, проведений аналіз публікацій свідчить про те, що хоча питання збирання та зберігання даних опрацьовані досить детально, проблема створення єдиного інтелектуального середовища для автоматизованої інтерпретації морфогенетичних властивостей ґрунтів у реальному часі все ще залишається актуальною і потребує подальшого розроблення на основі новітніх ІТ-рішень. Також існує гостра потреба у розробці методів автоматизованої кореляції національних ґрунтових баз із міжнародними стандартами (WRB, INSPIRE) без втрати локальної специфіки (Директива INSPIRE, 2007; World ..., 2014). Крім того, актуальною залишається проблема розробки алгоритмів, що дозволяють інтегрувати дані Big Data з польових сенсорів у традиційні педометричні моделі без порушення логічної цілісності бази даних.

Метою дослідження є формування та обґрунтування концептуального проєкту сучасної регіональної ГрІС, що базується на інтелектуальній семантичній моделі та новітніх мережових технологіях. Основним завданням є опис трирівневої структури формалізації (фізичний, логічний, семантичний) та представлення концепції ґрунтової системи координат як інструменту забезпечення цілісності та інтегрованості даних.

Результати

Проектування сучасної ґрунтової інформаційної системи починається з фундаментального переосмислення її ролі як динамічного впорядкованого набору процедур, що прискорюють трансформацію первинних ґрунтових даних у стратегічні знання. На першому етапі розробляється концептуальна модель, де ґрунтове тіло розглядається як ієрархія аксіоматичних об'єктів: елементарний ґрунтовий ареал (ЕІА), профіль та генетичний горизонт. Ці об'єкти є фундаментальними, оскільки без їх чіткої фіксації неможливе коректне відтворення генезису ґрунту в цифровому середовищі. Логічна структура системи має забезпечувати зберігання не лише статичних точкових значень, а й динамічних зв'язків між ними, що реалізується через розгалужену реляційну

базу даних. Важливим аспектом проектування є створення такої архітектури, яка дозволяє автоматично валідувати дані на етапі введення, порівнюючи їх із встановленими генетичними нормами для конкретного ґрунту. Особлива увага приділяється інтеграції Big Data, що надходять від мереж наземних сенсорів, які вимірюють вологість та температуру ґрунту в реальному часі, доповнюючи статичні описи розрізів.

Для вирішення проблеми просторової та семантичної невизначеності нами введено поняття «ґрунтової системи координат». Це спеціалізований інструментарій, де кожна властивість ґрунту (вміст гумусу, pH, гранулометричний склад) прив'язується до конкретного об'єкта вертикальної будови через набір унікальних ієрархічних індексів. Така ієрархія дозволяє формалізувати відносини між різнорівневими даними, наприклад, математично пов'язати хімічний склад конкретного морфону з геоморфологічним положенням усього полігону в межах катени. Використання такої системи координат мінімізує суб'єктивізм картографа під час польових робіт та дозволяє автоматизувати процес дешифрування ґрунтів за допомогою сучасних алгоритмів штучного інтелекту. Кожне вимірювання в сис-

темі отримує свій унікальний «цифровий паспорт», що дозволяє відстежувати його походження та методику отримання (рис. 1). Це забезпечує високу достовірність аналітичних висновків та можливість відтворення результатів іншими дослідниками. Сучасні підходи також передбачають використання блокчейн-технологій для фіксації авторства та незмінності первинних ґрунтових даних, що підвищує рівень довіри до регіональних баз даних.

Ключовою особливістю розробленої архітектури ґрунтових інформаційних систем є багаторівнева семантична формалізація. Використання найвищого ієрархічного рівня (ID_Grade = 0) як точки відліку в семантичній базі даних відкриває принципову можливість формалізувати відносини між ґрунтовим профілем та його внутрішніми морфологічними одиницями.

Це дозволяє системі розрізняти властивості, притаманні всьому розрізу (тип ґрунту, мезорельєф), від показників конкретного генетичного горизонту чи морфону. Такий підхід базується на принципах реляційної алгебри, де дані впорядковані як сукупність сутностей та логічних відношень. Завдяки впровадженню ґрунтової системи координат, кожен атрибут (pH, вміст фракцій піску

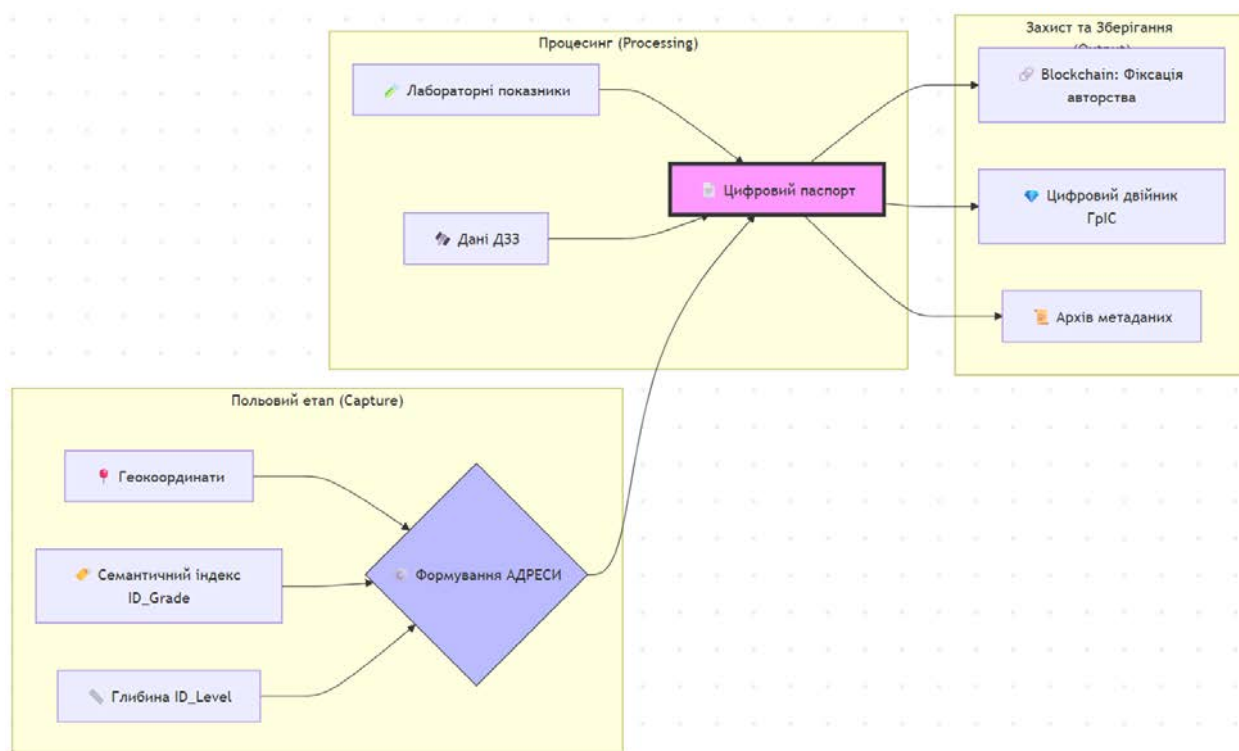


Рис. 1. Функціональна схема формування «цифрового паспорта» ґрунтового об'єкта на основі системи координат

чи мулу) отримує чітку адресу в просторовій структурі ґрунтового тіла. Це мінімізує спотворення інформації при переході від аналогових описів до цифрових масивів, що є критичним для коректної статистичної обробки та картографічної візуалізації. Використання такої формалізованої мови описів забезпечує інтероперабельність системи з міжнародними протоколами SOTER та WRB, дозволяючи автоматично конвертувати національні ґрунтові характеристики у глобально визнані формати без втрати генетичного змісту (SOTER, 2026; World ..., 2014).

На рисунку 1 представлено алгоритм формування «цифрового паспорта» вимірювання. На відміну від традиційних баз даних, де опис є статичним текстом, цифровий паспорт у ГрІС – це динамічний об'єкт, де кожне значення рН або вмісту гумусу має жорстку прив'язку до ієрархічної системи координат (ID_Grade). Це дозволяє не лише зберігати дані, а й автоматично верифікувати їх за допомогою блокчейн-технологій, забезпечуючи незмінність первинної інформації та можливість її коректного відтворення іншими дослідниками.

Другим важливим напрямом побудови інтелектуальних ГрІС є впровадження блоку обробки дистанційних даних для верифікації генетичних ознак ґрунтового покриття. На основі результатів досліджень встановлено, що безшовна інтеграція мультиспектральних індексів (зокрема SBI, NDVI та SAVI) безпосередньо в логічну структуру бази даних дозволяє автоматично коригувати межі ґрунтових контурів. Дані дистанційного зондування виступають як динамічні коваріати в педометричних моделях, що забезпечує перехід від статичного картографування до моніторингу в режимі реального часу. Сучасна архітектура ґрунтових інформаційних систем може підтримувати використання хмарних платформ для обробки терабайтів супутникової інформації (Big Data), що наприклад дозволить здійснювати предиктивне моделювання ерозійної небезпеки чи хімічної деградації ґрунтів. Алгоритми машинного навчання, базуючись на семантично вивірених даних ГрІС, здатні генерувати цифрові ґрунтові карти з точністю понад 85% (Argouays et al., 2011; Padarian et al., 2020). Це перетворює інформаційну систему з пасивного архіва на активний інструмент підтримки прийняття управлінських рішень, де кожна спектральна аномалія на знімку автоматично зіставляється з морфологічними

характеристиками ґрунту, дані про який внесено в базу даних.

Обговорення

Сучасний етап розвитку ґрунтових інформаційних систем характеризується переходом до мережесистем третього покоління, що базуються на принципах мобільного доступу та хмарних обчислень. Така архітектура передбачає використання відкритих мережесистемних протоколів для синхронізації польових даних, отриманих за допомогою мобільних пристроїв (в нашому випадку через додаток QField), із централізованою реляційною базою. Згідно з вимогами до інфраструктури просторових даних, викладеними в Директиві INSPIRE, проєктована ГрІС забезпечує повну інтероперабельність, тобто здатність до безперешкодного обміну даними між різними інформаційними ресурсами. Це досягається через впровадження стандартизованих семантичних описів та метаданих, що дозволяє інтегрувати регіональну систему в єдиний європейський та глобальний ґрунтовий простір знань. Використання програмних платформ, які об'єднують ГІС-функціонал із потужними СУБД, дозволяє виконувати складні завдання: від прогнозу ерозійної небезпеки до моделювання глобальних змін ґрунтового покриття.

В сучасних умовах ГрІС повинна підтримувати роботу з часовими рядами, що дозволяє відстежувати динаміку змін властивостей ґрунту протягом десятиліть. Застосування алгоритмів машинного навчання на базі накопичених у ГрІС історичних та актуальних даних дозволяє створювати предиктивні цифрові карти з високою роздільною здатністю. Така інтелектуальна надбудова перетворює інформаційну систему з пасивного сховища на потужний інструмент прогнозування та підтримки прийняття управлінських рішень у сфері землекористування. Система здатна автоматично генерувати звіти про стан ґрунтового покриття, виявляти зміни важливих властивостей ґрунту та сигналізувати про необхідність проведення меліоративних заходів. Використання хмарних обчислень дозволяє проводити складні геостатистичні розрахунки. Фінальним етапом побудови є впровадження блоку 3D-візуалізації, який дозволяє дослідникам з допомогою віртуального ґрунтового профілю краще інтерпретувати просторову неоднорідність ландшафту. Це забезпечує наочність результатів для широкого кола користувачів, від нау-

ковців до фахівців аграрного чи інших секторів. Таким чином, спроектована ГрІС стає центральним вузлом у системі управління природними ресурсами певного регіону, забезпечуючи перехід від традиційного до інтелектуального ґрунтознавства (рис. 2).

Особливого значення в архітектурі сучасних ґрунтових інформаційних систем набуває блок інтелектуального аналізу даних, що базується на алгоритмах машинного навчання для предиктивного моделювання морфогенетичних ознак ґрунтів (рис. 2). Використання нейронних мереж дозволяє ідентифікувати латентні закономірності між спектральною відбивною здатністю поверхні та внутрішніми хімічними власти-

востями профілю. Застосування методів глибокого навчання у межах ґрунтових інформаційних систем відкриває шлях до автоматичного розпізнавання генетичних горизонтів на основі цифрових бібліотек спектральних образів (Naegeli et al., 2017; Wulf et al., 2015). Це дозволяє системі не просто фіксувати наявний стан ґрунту, а й прогнозувати його трансформацію під впливом інтенсивного агрогенного навантаження або кліматичних змін. Важливою технологічною перевагою спроектованої системи є використання хмарних обчислень, зокрема платформи Google Earth Engine, що дозволяє опрацьовувати масиви Big Data без залучення значних локальних сервер-

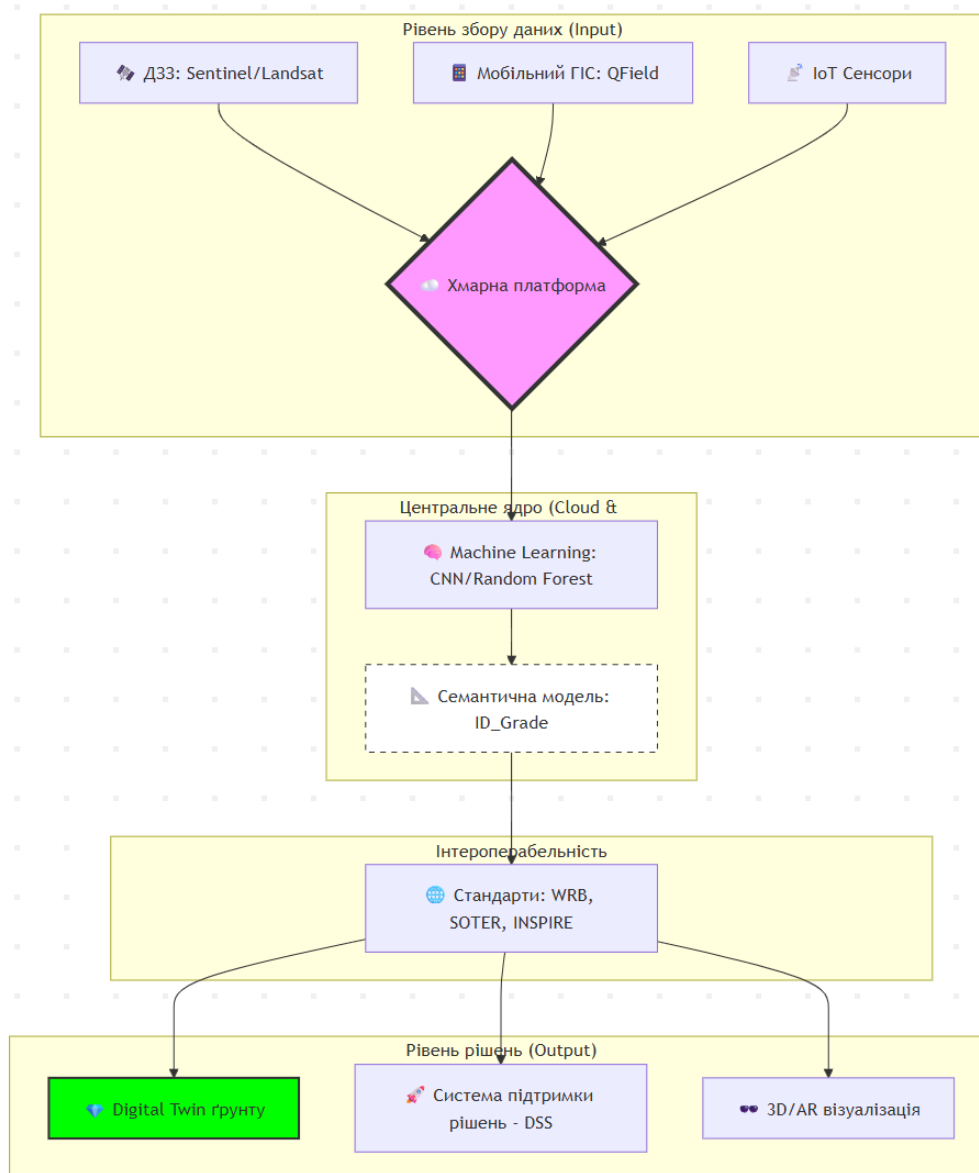


Рис. 2. Концептуальна модель архітектури інтелектуальної ГрІС на засадах хмарних обчислень та предиктивного моделювання

них потужностей. Такий підхід забезпечує високу швидкість генерації цифрових ґрунтових карт навіть для значних за площею територій, що раніше потребувало місяців польових обстежень.

Таким чином, інтелектуальна надбудова ґрунтових інформаційних систем трансформує її з пасивного цифрового сховища в активну експертну систему, здатну до самонавчання та постійного вдосконалення предиктивних моделей. Все це забезпечує надійне наукове підґрунтя для переходу до нового технологічного укладу в ґрунтознавстві та суміжних галузях природокористування.

Висновки

Проведене дослідження дозволяє констатувати, що проектування сучасних ґрунтових інформаційних систем є важливим напрямом трансформації класичного ґрунтознавства в інтелектуальну інформаційну дисципліну. Встановлено, що ґрунтова інформаційна система виступає базовою одиницею інформаційного ґрунтознавства, забезпечуючи не лише зберігання первинних даних, а й генерацію нових знань через складні аналітичні процедури. Запропонована семантична модель опису ґрунту дозволяє подолати розрив між морфогенетичними характеристиками ґрунтового тіла та формальними вимогами реляційних баз даних. Аксиоматизація ґрунтових об'єктів, зокрема виділення елементарного ґрунтового ареалу, профілю та горизонту, створює логічний фундамент для адекватного відтворення ґрунтових процесів у цифровому середовищі.

Розроблена ґрунтова система координат забезпечує точну прив'язку атрибутивних показників до ієрархічної структури ґрунтового тіла, мінімізуючи втрату інформації на етапах її обробки. Впровадження мережних протоколів та хмарних архітектур дозволяє перетворити регіональні ґрунтові інформаційні системи на динамічні платформи моніторингу, доступні в режимі реального часу через мобільні пристрої. Доведено, що

безшовна інтеграція даних дистанційного зондування Землі суттєво підвищує точність проведення ґрунтових меж та верифікації стану ґрунтового покриву. Використання мультиспектральних індексів як динамічних коваріат у педометричних моделях забезпечує високу достовірність предиктивного картографування властивостей ґрунтів.

Застосування алгоритмів машинного навчання, зокрема методу Random Forest, дозволяє автоматизувати процес інтерпретації великих масивів даних, досягаючи точності моделювання понад 85%. Архітектура проєктованої системи повністю відповідає принципам інтероперабельності, що закладені в Директиві INSPIRE та міжнародних стандартах WRB і SOTER. Модульна структура системи забезпечує гнучкість її використання для вирішення широкого спектра завдань, а саме: від агрохімічного моніторингу до оцінки ризиків деградації ландшафтів. Інтеграція ГрІС із веб-інтерфейсами відкриває нові можливості для прозорого управління земельними ресурсами та підтримки прийняття управлінських рішень на локальному та регіональному рівнях.

Впровадження інтелектуальних ґрунтових інформаційних систем сприяє переходу до систем точного землеробства, що є критично важливим для підвищення рентабельності аграрного сектору та збереження родючості ґрунтів.

Подальше масштабування регіональних систем у єдиний цифровий простір дозволить сформулювати національний «цифровий двійник» ґрунтового покриву. Розвиток технологій блокчейн може стати наступним кроком у забезпеченні верифікації та незмінності первинної ґрунтової інформації. Таким чином, спроектована модель ґрунтових інформаційних систем є відкритим науково-технологічним рішенням, що відповідає викликам сучасної цифрової епохи. Створення інтегрованої системи ґрунтових знань забезпечить сталий розвиток довкілля та продовольчу безпеку України на десятиліття вперед.

Список використаної літератури

Директива Європейського Парламенту і Ради 2007/2/ЄС від 14 березня 2007 року про створення Інфраструктури просторової інформації у Європейському Співтоваристві (INSPIRE). Офіційний вебпортал парламенту України. [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_002-07#Text (дата звернення: 10.02.2026)

Позняк С.П. Ґрунтознавство і географія ґрунтів : підручник. У двох частинах. Ч. 1. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2010. 270 с.

Позняк, С.П., Красеха Є.Н., Кіт М.Г. Картографування ґрунтового покриття : навчальний посібник. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2003. 500 с.

Позняк С. П., Паньків З. П., Ямелинець Т. С., Гавриш Н. С. Інвестиційна привабливість ґрунтів Карпатського регіону України. *Український географічний журнал*. №1 (109). 2020. С. 26–34. <https://doi.org/10.15407/ugz2020.01.026>

Позняк С. П., Папіш І. Я, Іванюк Г. С., Ямелинець Т. С. Ґрунтово-географічне районування Львівської обл.: структура та принципи. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2017. Вип. 52. С. 251–256. <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2018.52.10191>

Ямелинець Т. С. Аналіз сучасних ґрунтових інформаційних систем і баз даних ґрунтів країн світу. *Вісник Одеського національного університету. Серія : Географічні та геологічні науки*. 2020а. Т. 22, Вип. 1. С. 126–137. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2\(37\).216566](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2(37).216566)

Ямелинець Т. С. Інформаційна модель ґрунту як базова одиниця інформаційного ґрунтознавства. *Наукові записки Тернопільського нац. пед. ун-ту імені Володимира Гнатюка. Серія: Географія*. 2020b. № 2 (вип. 49). С. 37–45. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.20.1.6>

Ямелинець Т. С. Теоретичні основи наукового напряму інформаційного ґрунтознавства. *Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій*. 2020с. С. 78–89. <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2020.1.3207>

Arrouays D., Saby N. P., Thioulouse J., Jolivet C., Boulonne L., Ratié C. Large trends in French topsoil characteristics are revealed by spatially constrained multivariate analysis. *Geoderma*. 2011. Vol. 161(3-4), P. 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.002>

Chen S., Arrouays D., Mulder V. L., Poggio L., Minasny B., Roudier P., Walter C. Digital mapping of GlobalSoilMap soil properties at a broad scale: A review. *Geoderma*. 2022. Vol. 409, P. 115–167. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115567>

Congalton R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote sensing of environment*. 1991. Vol. 37(1), P. 35–46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)

Congalton R. G. Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information. *International journal of wildland fire*. 2001. Vol. 10(4), P. 321–328. <https://doi.org/10.1071/WF01031>

Grundy L., Ghimire C., Snow V. Characterisation of soil micro-topography using a depth camera. *MethodsX*. 2020. Vol. 7, P. 101–144. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.101144>

Hengl T., Nussbaum M., Wright M. N., Heuvelink G. B., Gräler B. Random forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables. *PeerJ*. 2018. Vol. 6, e5518. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.26693v2>

Hengl T., Heuvelink G. B., Kempen B., Leenaars J. G., Walsh M. G., Shepherd K. D., Tondoh J. E. Mapping soil properties of Africa at 250 m resolution: Random forests significantly improve current predictions. *PloS one*. 2015. Vol. 10(6), e0125814. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125814>

Hengl T., Mendes de Jesus J., Heuvelink G. B., Ruiperez Gonzalez M., Kilibarda M., Blagotić A., Kempen B. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS one*. 2017. Vol. 12(2), e0169748. <https://doi.org/10.33292/areste.v5i1.76>

Ivanyuk H., Yamelynets T., Papish I., Hnativ P., Pankiv Z., Bonishko O., Ivaniuk V., Haskevych O., Baranskyi D., Avhustynovych M. Soil classification of Ukraine and its correlation with WRB (2022). *Soil Science Annual*. 2026. Vol. 77(1), P. 215–263. <https://doi.org/10.37501/soilsa/215263>

Lagacherie P., McBratney A. B. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. *Developments in soil science*. 2006. Vol. 31, P. 3–22. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(06\)31001-X](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(06)31001-X)

Lagacherie P., McBratney A., Voltz M. Digital soil mapping: an introductory perspective. *Elsevier*. 2006. Vol. 31. P. 600.

Lagacherie P., Bailly J. S., Monestiez P., Gomez C. Using scattered hyperspectral imagery data to map the soil properties of a region. *European Journal of Soil Science*. 2012. Vol. 63(1), P. 110–119. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2011.01409.x>

Li C., de Jong R., Schmid B., Wulf H., Schaepman M. E. Changes in grassland cover and in its spatial heterogeneity indicate degradation on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Ecological Indicators*. 2020. Vol. 119, P. 106–141. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106641>

Naegeli K., Damm A., Huss M., Wulf H., Schaepman M., Hoelzle M. Cross-comparison of albedo products for glacier surfaces derived from airborne and satellite (Sentinel-2 and Landsat 8) optical data. *Remote Sensing*. 2017. Vol. 9(2), P. 110. <https://doi.org/10.3390/rs9020110>

Padarian J., Minasny B., McBratney A. B. Machine learning and soil sciences: A review aided by machine learning tools. *Soil*. 2020. Vol. 6(1), P. 35–52. <https://doi.org/10.5194/soil-6-35-2020>

Pankiv Z., Malyk S., Yamelynets T. Soil-forming processes in profile textural differentiated forest soils of the Cis-Carpathian region, Ukraine. *Baltic Forestry*. 2020. Vol. 26(2): P. 472 <https://doi.org/10.46490/BF472>

- Pankiv Z., Malyk S., Yamelynets T. Diagnostic criteria for lessivage of profile-differentiated soils of the Precarpathian region (Ukraine). *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*. 2019. Vol. 70, Issue 4, P. 189–207 <https://doi.org/10.2478/boku-2019-0018>
- Prost G. Alteration mapping with airborne multispectral scanners. *Economic Geology*. 1980. Vol. 75(6), P. 894–906. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.75.6.894>
- Rossiter D. G. Past, present & future of information technology in pedometrics. *Geoderma*. 2018. Vol. 324, P. 131–137. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.009>
- Rossiter D. G. Digital soil resource inventories: status and prospects. *Soil use and management*. 2004. Vol. 20(3), P. 296–301. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2004.tb00372.x>
- SOTER (база даних про ґрунти і рельєф) [Електронний ресурс]. URL: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu> (дата звернення 03.02.2026).
- Wang J., Zhen J., Hu W., Chen S., Lizaga I., Zeraatpisheh M., Yang X. Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective. *International Soil and Water Conservation Research*. 2023. Vol. 11(3), P. 429–454. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.03.002>
- World reference base for soil resources. - Rome: IUSS, ISRIC, FAO. 2014. 133 p.
- Wulf H., Mulder T., Schaepman M. E., Keller A., Jörg P. C., Schaepman M. E. Remote sensing of soils. *Remote Sensing Laboratories, University of Zurich: Zürich, Switzerland*. 2015; P. 1–71. <https://doi.org/10.5167/uzh-109992>

References

- Dyrektiva Yevropeiskoho Parlamentu i Rady 2007/2/Yes vid 14 bereznia 2007 roku pro stvorennia Infrastruktury prostorovoi informatsii u Yevropeiskomu Spivtovarystvi (INSPIRE). [Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE).] Official web portal of the Parliament of Ukraine. [Electronic resource]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_002-07#Text (accessed: 10.02.2026) [in Ukrainian].
- Pozniak, S.P. (2010). *Gruntoznastvo i heohrafiia gruntiv : pidruchnyk. U dvokh chastynakh. Ch. 1 [Soil Science and Soil Geography: A Textbook. In two parts. Part 1]* Lviv : Publishing center LNU named after Ivan Franko, 270. [in Ukrainian].
- Pozniak, S.P., Krasiekha, Ye.N., Kit, M.H. (2003). *Kartohrafuvannia gruntovoho pokryvu: Navchalnyi posibnyk. [Cartography of Soil Cover: study guide]* Lviv : Publishing center LNU named after Ivan Franko, 500. [in Ukrainian].
- Pozniak, S. P., Pankiv, Z. P., Yamelynets, T. S., Havrysh, N. S. (2020). Investytsiina pryvablyvist gruntiv Karpatskoho rehionu Ukrainy. [Investment attractiveness of soils in the Carpathian region of Ukraine.] *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*, №1 (109), 26–34. <https://doi.org/10.15407/ugz2020.01.026> [in Ukrainian].
- Pozniak, S. P., Papish, I. Ya, Ivaniuk, H. S., Yamelynets, T. S. (2017). Gruntovo-heohrafichne raionuvannia Lvivskoi obl.: struktura ta pryntsypy [Soil-geographical zoning of Lviv Oblast: structure and principles]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii heohrafichna. [Bulletin of Lviv University. Geography Series]*, Lviv : Publishing center LNU named after Ivan Franko, Vyp. 52. 251–256. <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2018.52.10191> [in Ukrainian].
- Yamelynets, T. S. (2020a). Analiz suchasnykh gruntovykh informatsiinykh system i baz danykh gruntiv krain svitu. [Analysis of modern soil information systems and soil databases of countries around the world.] *Visnyk Odeskoho natsionalnogo universytetu. Serii : Heohrafichni ta heolohichni nauky. [Bulletin of Odessa National University. Series: Geographical and Geological Sciences]*, T. 22, Vyp. 1. 126–137. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2\(37\).216566](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2(37).216566) [in Ukrainian].
- Yamelynets, T. S. (2020b). Informatsiina model gruntu yak bazova odyntsia informatsiinoho gruntoznastva [The soil information model as the basic unit of information soil science.] *Naukovi zapysky Ternopilskoho nats. ped. un-tu imeni Volodymyra Hnatiuka. Serii: Heohrafiia. [Scientific Notes of the Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University. Series: Geography]*, № 2 (vyp. 49). 37–45. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.20.1.6> [in Ukrainian].
- Yamelynets, T. S. (2020c). Teoretychni osnovy naukovooho napriamu informatsiinoho hruntoznastva. [Theoretical foundations of the scientific field of information soil science.] *Problemy heomorfolohii i paleoheohrafi Ukrainykh Karpat i prylehlykh terytorii. [Issues in the geomorphology and palaeogeography of the Ukrainian Carpathians and surrounding areas]*, 78–89. [in Ukrainian].
- Arrouays, D., Saby, N. P., Thioulouse, J., Jolivet, C., Boulonne, L., Ratié, C. (2011). Large trends in French topsoil characteristics are revealed by spatially constrained multivariate analysis. *Geoderma*, 161(3-4), 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.002> [in English].
- Chen, S., Arrouays, D., Mulder, V. L., Poggio, L., Minasny, B., Roudier, P., Walter, C. (2022). Digital mapping of GlobalSoilMap soil properties at a broad scale: A review. *Geoderma*, 409, 115567. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115567> [in English].

- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote sensing of environment*, 37(1), 35–46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B) [in English].
- Congalton, R. G. (2001). Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information. *International journal of wildland fire*, 10(4), 321–328. <https://doi.org/10.1071/WF01031> [in English].
- Grundy, L., Ghimire, C., Snow, V. (2020). Characterisation of soil micro-topography using a depth camera. *MethodsX*, 7, 101144. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.101144> [in English].
- Hengl, T., Nussbaum, M., Wright, M. N., Heuvelink, G. B., Gräler, B. (2018). Random forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables. *PeerJ*, 6, e5518. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.26693v2> [in English].
- Hengl, T., Heuvelink, G. B., Kempen, B., Leenaars, J. G., Walsh, M. G., Shepherd, K. D., Tondoh, J. E. (2015). Mapping soil properties of Africa at 250 m resolution: Random forests significantly improve current predictions. *PloS one*, 10(6), e0125814. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125814> [in English].
- Hengl, T., Mendes de Jesus, J., Heuvelink, G. B., Ruiperez Gonzalez, M., Kilibarda, M., Blagotić, A., Kempen, B. (2017). SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS one*, 12(2), e0169748. <https://doi.org/10.33292/areste.v5i1.76> [in English].
- Ivanyuk, H., Yamelynets, T., Papish, I., Hnativ, P., Pankiv, Z., Bonishko, O., Ivaniuk, V., Haskevych, O., Baranskyi, D., Avhustynovych, M. (2026). Soil classification of Ukraine and its correlation with WRB (2022). *Soil Science Annual*, 77(1), 215263. <https://doi.org/10.37501/soilsa/215263> [in English].
- Lagacherie, P., & McBratney, A. B. (2006). Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. *Developments in soil science*, 31, 3–22. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(06\)31001-X](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(06)31001-X) [in English].
- Lagacherie, P., McBratney, A., Voltz, M. (2006). Digital soil mapping: an introductory perspective (Vol. 31). *Elsevier*. 600. [in English].
- Lagacherie, P., Bailly, J. S., Monestiez, P., Gomez, C. (2012). Using scattered hyperspectral imagery data to map the soil properties of a region. *European Journal of Soil Science*, 63(1), 110–119. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2011.01409.x> [in English].
- Li, C., de Jong, R., Schmid, B., Wulf, H., Schaepman, M. E. (2020). Changes in grassland cover and in its spatial heterogeneity indicate degradation on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Ecological Indicators*, 119, 106641. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106641> [in English].
- Naegeli, K., Damm, A., Huss, M., Wulf, H., Schaepman, M., Hoelzle, M. (2017). Cross-comparison of albedo products for glacier surfaces derived from airborne and satellite (Sentinel-2 and Landsat 8) optical data. *Remote Sensing*, 9(2), 110. <https://doi.org/10.3390/rs9020110> [in English].
- Padarian, J., Minasny, B., McBratney, A. B. (2020). Machine learning and soil sciences: A review aided by machine learning tools. *Soil*, 6(1), 35–52. <https://doi.org/10.5194/soil-6-35-2020> [in English].
- Pankiv, Z., Malyk, S., Yamelynets, T. (2020). Soil-forming processes in profile textural differentiated forest soils of the Cis-Carpathian region, Ukraine. *Baltic Forestry* 26(2): 472 <https://doi.org/10.46490/BF472> [in English].
- Pankiv, Z., Malyk, S., Yamelynets, T. Diagnostic criteria for lessivage of profile-differentiated soils of the Precarpathian region (Ukraine). *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment* Volume 70, Issue 4, 189–207, 2019. <https://doi.org/10.2478/boku-2019-0018> [in English].
- Prost, G. (1980). Alteration mapping with airborne multispectral scanners. *Economic Geology*, 75(6), 894–906. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.75.6.894>
- Rossiter, D. G. (2018). Past, present & future of information technology in pedometrics. *Geoderma*, 324, 131–137. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.009> [in English].
- Rossiter, D. G. (2004). Digital soil resource inventories: status and prospects. *Soil use and management*, 20(3), 296–301. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2004.tb00372.x> [in English].
- SOTER (database on soils and topography) [Electronic resource]. – Access mode : <https://esdac.jrc.ec.europa.eu> (accessed: 03.02.2026). [in English].
- Wang, J., Zhen, J., Hu, W., Chen, S., Lizaga, I., Zeraatpisheh, M., Yang, X. (2023). Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective. *International Soil and Water Conservation Research*, 11(3), 429–454. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.03.002> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 06.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 06.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 16
Український журнал природничих наук
№ 16

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

ХІМІЯ

УДК 552.576.1: 661.183.03: 554.723.2
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.14>

АЗОТНОКИСЛОТНА МОДИФІКАЦІЯ ВИКОПНОГО ВУГІЛЛЯ ЯК МЕТОД ПОКРАЩЕННЯ ПОГЛИНАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ВУГЛЕЦЕВИХ АДСОРБЕНТІВ

В. О. Кучеренко¹, Ю. В. Тамаркіна², О. В. Акопов³

Викопне вугілля різного ступеня метаморфізму (СМ) представляє значну групу прекурсорів для отримання активованого вугілля (АВ) для видалення екотоксикантів. З огляду на практичну значущість АВ, актуальними є дослідження, спрямовані на вдосконалення методів їхнього синтезу та покращення адсорбційних характеристик. Одним із перспективних підходів є спрямована зміна властивостей АВ шляхом окисної обробки прекурсора, зокрема азотнокислотної модифікації вихідного вугілля. Аналіз літературних даних свідчить, що азотнокислотна обробка кінцевого АВ руйнує його нанопористу структуру, тоді як модифікація безпосередньо вугілля-прекурсора забезпечує протилежний ефект: збільшує питому площу поверхні та підвищує адсорбційну активність. У цій роботі вперше кількісно оцінено вплив низькотемпературної азотнокислотної модифікації викопного вугілля різного СМ на адсорбційні властивості зразків АВ, отриманих шляхом лужної активації за низького вагового співвідношення KOH/вугілля (1 г/г). Досліджено зразки кам'яного вугілля широкого діапазону СМ із вмістом вуглецю $C^{daf} = 80.0\text{--}95.2\%$. Модифікацію здійснювали розчином HNO_3 (50%) при $25 \pm 2^\circ C$ протягом 24 год. Зразки АВ отримували активацією вихідного вугілля з KOH ($800^\circ C$, 1 год), а зразки АВ(М) – з модифікованого вугілля за аналогічних умов. Визначено вихід продуктів, питому площу поверхні S_{BET} та адсорбційну ємність щодо 4-хлорфенолу (ХФ), метиленового блакитного (МБ) та катіонів Pb(II), які є типовими екотоксикантами. Встановлено, що за уніфікованих умов синтезу та активації саме ступінь метаморфізму вугілля визначає пористість та адсорбційну здатність АВ. Отримано залежності S_{BET} та ємностей зразків АВ з модифікованого вугілля від вмісту вуглецю прекурсорів. Ці зразки мають вищу (в 1.13–1.34 рази) поверхню S_{BET} порівняно з АВ з вихідного вугілля. Модифікація сприяє зростанню адсорбційної ємності за ХФ (в 1.14–2.54 рази), МБ (до 1.60 рази) та Pb(II)

¹ доктор хімічних наук, старший науковий співробітник,
завідувач відділу хімії вугілля
(Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, м. Київ)
e-mail: v.a.kucherenko@ukr.net
ORCID: 0000-0001-7234-947X

² кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник,
старший науковий співробітник відділу досліджень нуклеофільних реакцій
(Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, м. Київ)
e-mail: ytamarkina@gmail.com, tamarkina@nas.gov.ua
ORCID: 0000-0002-8747-4481

³ провідний інженер відділу хімії гетероциклічних сполук
(Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, м. Київ)
e-mail: arokmail@ukr.net
ORCID: 0009-0005-1161-9751

(в 1.34–1.76 рази). Найвищі показники ємності продемонструвало АВ на основі модифікованого довгополуменевого вугілля: 4.43 ммоль/г (ХФ), 0.81 ммоль/г (МБ) та 1.02 ммоль/г (Рб). Розраховано питомі адсорбційні ємності, які є пропорційними поверхневій концентрації адсорбційних центрів. У зразків АВ(М) цей параметр для ХФ змінюється екстремально з максимумом для вугілля середнього СМ. Питома ємність за МБ та Рб(ІІ) залишається майже незмінною в інтервалі $C^{daf} = 80\text{--}88\%$ і стрімко знижується у антрацитових АВ. На основі порівняння отриманих результатів із літературними даними зроблено висновок, що зразки АВ із модифікованого низькометаморфізованого вугілля є високоефективними адсорбентами для вилучення органічних екотоксикантів та важких металів з водних середовищ.

Ключові слова: викопне вугілля, лужна активація, активоване вугілля, адсорбція, 4-хлорфенол, метиленовий блакитний, катіони свинцю.

NITRIC ACID MODIFICATION OF COALS AS A METHOD FOR IMPROVING THE ADSORPTION CAPACITY OF CARBON ADSORBENTS

V. O. Kucherenko, Yu. V. Tamarkina, O. V. Akopov

Fossil coals of various rank represent a significant group of precursors for the production of activated carbons (ACs) used in the removal of ecotoxics. In view of the practical importance of ACs, research aimed on improvement of their synthesis methods and adsorption characteristics remains highly relevant. One promising approach is the direct changes of AC properties through oxidative treatment of the precursor, specifically the nitric acid modification of the raw coal. Literature analysis indicates that nitric acid treatment of final AC destroys its nanoporous structure, whereas the modification of the coal precursor itself results in the opposite effect: it increases the specific surface area and enhances adsorption activity.

In this work, the influence of low-temperature nitric acid modification of different rank coals on the adsorption properties of ACs prepared via alkaline activation at a low KOH/coal weight ratio (1 g/g) was quantitatively evaluated for the first time. Coal samples spanning a wide range of ranks with carbon content $C^{daf} = 80.0\text{--}95.2\%$ were investigated. Modification was carried out using an HNO_3 solution (50%) at $25 \pm 2^\circ\text{C}$ for 24 h. ACs were obtained by activating coals with KOH (800°C , 1 h), while AC(M) samples were prepared from the modified coal under identical conditions. It was determined ACs yields, specific surface area S_{BET} , and adsorption capacities towards 4-chlorophenol (CPh), methylene blue (MB), and Pb(II) cations, which are typical ecotoxics. It was established that under unified synthesis and activation conditions, the coal rank is the primary factor determining the porosity parameters and adsorption capacity of the resulting ACs. The dependences of S_{BET} and the ACs capacities on the carbon content of the precursor were obtained. The samples derived from modified coals exhibit a higher specific surface area (by 1.13–1.34 times) compared to ACs derived from the raw coals. Modification results in an increase in adsorption capacity for CPh (by 1.14–2.54 times), MB (up to 1.60 times), and Pb(II) (by 1.34–1.76 times). The highest capacity was demonstrated by the AC based on modified long-flame coal: 4.43 mmol/g (CPh), 0.81 mmol/g (MB), and 1.02 mmol/g (Pb). Specific adsorption capacities, which are proportional to the surface concentration of adsorption sites, were calculated. This parameter for CPh varies non-monotonically, reaching a maximum for medium rank coals modified. The specific capacities for MB and Pb(II) remain nearly constant in the range of $C^{daf} = 80\text{--}88\%$ and decrease sharply for ACs from anthracites. Based on a comparison of the obtained results with literature data, it is concluded that AC samples derived from modified low-rank coal are highly efficient adsorbents for the removal of organic ecotoxics and heavy metals from aqueous media.

Key words: fossil coal, alkaline activation, activated carbon, adsorption, 4-chlorophenol, methylene blue, lead cations.

Вступ

Викопне вугілля різного ступеня метаморфізму є великою групою речовин-прекурсорів для отримання активованого вугілля, яке має розвинену нанопористу структуру, велику питому площу поверхні, хімічну стійкість та електропровідність (Zhao et al., 2023; Li et al., 2022a). Саме ці властивості обумовлюють їх застосування для зберігання водню (Tellez-Juárez et al.,

2014), природного газу (Vasanth Kumar et al., 2017) та електроенергії в батареях (Bora et al., 2021) і суперконденсаторах (Dong et al., 2023), уловлювання парникового газу CO_2 (Gao et al., 2022), радіоактивного йоду (Kunarbekova et al., 2024) та інших екотоксикантів (Gokce et al., 2021; Wu et al., 2024).

Поширеним методом конверсії вугілля на АВ є лужна активація – термохемоліз

(500–900°C) прекурсора з КОН (Zhao et al., 2023), який утворює матеріали з найбільшою питомою поверхнею ($S_{\text{БЕТ}}$), наприклад, АВ з бурого вугілля (3036 м²/г) (Xing et al., 2015), кам'яного вугілля (2440 м²/г) (Zhao et al., 2014) або антрациту (4012 м²/г) (Hamuyali et al., 2022). Вони утворюються при великих вагових співвідношеннях КОН/прекурсор $R_{\text{КОН}} \geq 3$ г/г і це є головним недоліком лужної активації. Якщо використовувати менші кількості КОН, пористість розвивається гірше. Наприклад, зниження величини $R_{\text{КОН}}$ з 5 г/г до 1 г/г знижує $S_{\text{БЕТ}}$ з 2452 м²/г до 1214 м²/г (АВ з карбонізату) (Li et al., 2022b), з 2054 м²/г до 928 м²/г (АВ з лігніну) (Bergna et al., 2022), з 4012 м²/г до 822 м²/г (АВ з антрациту) (Hamuyali et al., 2022).

Виникає актуальна задача – отримати АВ з великою поверхнею при невеликих кількостях луку. Опубліковані дані свідчать – що більший вміст кисню у прекурсорі, то краще розвивається поверхня АВ за невеликих співвідношень $R_{\text{КОН}}$. Зокрема, підвищення вмісту кисню з 1.0% (антрацит) до 11.8% (вугілля Д) збільшує $S_{\text{БЕТ}}$ з 322 м²/г до 1547 м²/г (Тамаркіна та ін., 2022), а попередня модифікація азотною кислотою додатково підвищує питому поверхню до $S_{\text{БЕТ}} = 2216$ м²/г. Аналогічну закономірність встановлено і при конверсії антрациту. Застосування попередньої азотнокислотної обробки (140°C) підвищує питому поверхню АВ при активації ($R_{\text{КОН}} = 1$ г/г) з 318 м²/г до ~2000 м²/г (Kucherenko et al., 2025a).

Виконаний в роботі (Kucherenko et al., 2025b) аналіз опублікованих даних показав, що азотнокислотна модифікація (далі – модифікація) АВ знижує $S_{\text{БЕТ}}$ та об'єм пор, трансформує мікропористу структуру в макропористу та частково руйнує вуглецевий просторовий каркас. В роботі (Pietrzak et al., 2009) вперше встановлено наступне: окиснення АВ з коксового вугілля азотною кислотою знижує $S_{\text{БЕТ}}$ з 2876 м²/г до 359 м²/г (як і в інших дослідженнях), а окиснення вугілля підвищує поверхню АВ до 3087 м²/г. Такий ефект підтверджено для АВ з деревини: окиснення АВ розчином HNO_3 (5%, 80°C, 12 год) знижує $S_{\text{БЕТ}}$ з 1485 м²/г до 833 м²/г, а наступна лужна

активація підвищує до 2027 м²/г (Kim et al., 2019). Це ж саме простежується і для вугілля Д (Kucherenko et al., 2025). Тобто, модифікація вугілля-прекурсора має протилежний ефект, а саме – збільшує питому поверхню та посилює адсорбційну активність АВ. Слід зауважити, що в опублікованих дослідженнях модифікацію застосовано для різних за природою вуглецевих прекурсорів та в істотно різних умовах, що практично виключає кількісне порівняння.

Мета роботи – кількісно оцінити вплив низькотемпературної азотнокислотної модифікації викопного вугілля різного ступеня метаморфізму на адсорбційні властивості зразків АВ, отриманих лужною активацією при невеликому співвідношенні КОН/вугілля – 1 г/г.

Матеріал і методи

В роботі використано наступне кам'яне вугілля: довгополуменеве (Д), газове (Г), жирне (Ж), коксівне (К), піснувато-спікливе (ПС), пісне (П) та антрацит (А). Індекси зразків вугілля, а також показники вмісту вуглецю C^{daf} та кисню O^{daf} наведено в табл. 1, де daf (dry ash free basis) означає розрахунок на суху беззолюну масу вугілля. Розмір частинок 0.16–0.25 мм. Зразки вугілля відібрано з одного пласта (l_4) Донецького вугільного басейну. Всі вони утворилися з одного і того самого палеорослинного матеріалу, а їхні структурні відмінності обумовлено виключно метаморфічними процесами. Кількісним критерієм ступеня метаморфізму обрано вміст вуглецю (C^{daf}).

Модифікацію вугілля виконували водним розчином HNO_3 (50%) за наступною методикою. Наважку зразка (10 г) сушили (120±5°C, ≥2 год), охолоджували та змішували з реагентом у співвідношенні HNO_3 /карбон вугілля $R_{\text{ОХ}}$, яке варіювали в інтервалі $R_{\text{ОХ}} = 0.1\text{--}1.0$ моль/моль ($\text{ОХ} = \text{HNO}_3$). Суміш витримували 24 год при кімнатній температурі (25±2°C), відфільтровували вугільний продукт, поміщали в нагріту до 120±5°C зону сушильної шафи, витримували до постійної ваги та визначали приріст ваги вугілля Δm (%). Зразки позначено як «Індекс(М)», наприклад, Д(М) та ПС₂(М) – модифіковані зразки довгополуменевого (Д) і піснувато-спікливого (ПС₂) вугілля, відпо-

Таблиця 1

Елементний склад зразків вихідного вугілля

Індекс	Д	Г ₁	Г ₂	Ж	К ₁	К ₂	ПС ₁	ПС ₂	ПС ₃	П	А ₁	А ₅
C^{daf} , %	80.0	81.0	83.5	85.0	86.4	88.6	89.4	90.0	90.8	91.2	93.3	95.2
O^{daf} , %	11.8	8.6	8.7	7.2	6.6	3.6	3.0	3.1	2.8	1.5	1.3	1.0

відно. Для коректності порівняння вихідне вугілля обробляли в тих самих умовах водою в кількості 0.4 моль/моль карбону вугілля, витримували 24 год ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) і висушували до постійної ваги.

Обробку вугілля гідроксидом калію виконували імпрегуванням в три стадії: 1) змішування висушеного вугілля (10 г) і водного розчину КОН (30%, 33.3 г) для забезпечення вагового співвідношення КОН/вугілля – $R_{\text{КОН}} = 1.0$ г/г; 2) витримку 24 год при $20\text{--}30^\circ\text{C}$; 3) видалення водної фази при $90\text{--}100^\circ\text{C}$ та залишкової води при $120 \pm 10^\circ\text{C}$ (≥ 2 год).

Зразки АВ отримували термопрограмованою активацією, яка включала нагрівання імпрегнованого вугілля (~40 г) в атмосфері аргону зі швидкістю 4 град/хв до 800°C , ізотермічну витримку 1 год та охолодження в потоці аргону до $t \leq 50^\circ\text{C}$. Утворений продукт послідовно відмивали від сполук калію (КОН, KHCO_3 , K_2CO_3) водою, розчином HCl (0.1М) і знов водою до від'ємної реакції на іони Cl^- (за AgNO_3), потім сушили ($120 \pm 5^\circ\text{C}$) до постійної ваги і визначали виходи Y_B (в розрахунку на вихідне вугілля) та $Y_{B(M)}$ (в розрахунку на модифіковане вугілля). Зразки, синтезовані з вихідного вугілля позначено АВ(Індекс), з модифікованого вугілля – АВ(Індекс)(М).

Характеристики пористості АВ визначено за ізотермами низькотемпературної (77 K) адсорбції азоту (прилад Micromeritics ASAP 2020). Перед вимірюваннями зразки АВ дегазували 20 год (160°C). Питому площу поверхні визначено методом BET в інтервалі відносного тиску $p/p_0 \leq 0.12$. Для зразків АВ з вихідного вугілля її позначено як S_{BET} , а для АВ з модифікованого вугілля – $S_{\text{BET}(M)}$.

Адсорбційну ємність $A_{\text{АД}}$ (ммоль/г) визначали за наступними адсорбатами АД: 4-хлорфенол (ХФ), барвник метиленовий блакитний (МБ) або катіони Pb(II) в розчині $\text{Pb(NO}_3)_2$. Наважку ($m = 0.100$ г) висушеного при $120 \pm 10^\circ\text{C}$ зразка АВ вводили в водний розчин (100 cm^3) адсорбату заданої початкової концентрації ($C_{\text{АД}(0)}$, ммоль/л) та струшували при $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ (150 об/хв, баня-шейкер МАХТURDY-45). Вміст АВ в розчині адсорбату був постійним – 1 г/л. Після закінчення заданого часу суміш фільтрували та вимірювали поточну концентрацію $C_{\text{АД}}$ (при вимірі кінетики адсорбції) або рівноважну концентрацію $C_{\text{АД}(e)}$ (при реєстрації ізотерм адсорбції). Концентрації адсорбатов ХФ та МБ визначали порівнянням з калібрувальними графіками оптич-

ної щільності розчину, виміряною спектрофотометром Perkin-Elmer Lambda 20 при довжинах хвиль 280 нм та 665 нм, відповідно (Tamarikina et al., 2022). Концентрацію катіонів Pb(II) визначали титруванням розчином трилону-Б у присутності кислотно-помаранчевого. Додатково розраховано питомі адсорбційні ємності $A_{\text{АД}(s)} (\text{ммоль/м}^2) = 1000 \cdot A_{\text{АД}} / S_{\text{BET}}$, які визначають поверхневу концентрацію адсорбційних центрів. Для оцінки ефективності азотнокислотної модифікації, тобто її впливу на адсорбційні властивості АВ використовували коефіцієнт ефективності $K_{\text{АД}} = A_{\text{АД}(e)} (\text{AB}(M)) / A_{\text{АД}(e)} (\text{AB})$, де АД = ХФ, МБ або Pb(II) .

Результати та їх обговорення

В контакт з HNO_3 (50%) вугілля збільшує вагу (рис. 1), яка досягає максимальних значень за ~24 год і далі не змінюється або зменшується за рахунок оксидеструктивних реакцій.

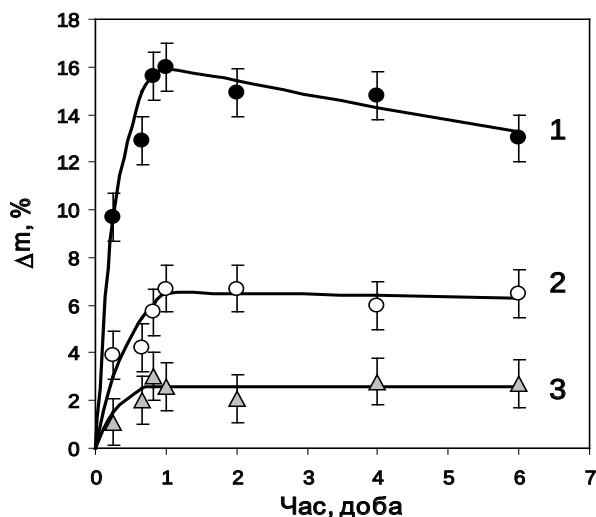


Рис. 1. Зміни ваги вугілля Д (1), Ж (2) та PC_2 (3) зі збільшенням часу контакту з розчином азотної кислоти

В наступних експериментах прийнято однаковий час модифікації 24 год для кожного зразка вугілля та будь-якого співвідношення HNO_3 /карбон вугілля (R_{OX}). Приріст ваги Δm екстремально залежить від R_{OX} та досягає найбільших величин при $R_{\text{OX}} \approx 0.4$ моль/моль (рис. 2). Зниження після максимуму пов'язане з низькотемпературним вигорянням вугілля з утворенням CO та CO_2 . Це характерно для вугілля низького СМ, яке має високу реакційну здатність при взаємодії з окисниками. З підвищенням СМ хімічна активність вугілля знижується, що обумовлює зменшення Δm та зникнення низхідних гілок на залежностях Δm від R_{OX} (рис. 2).

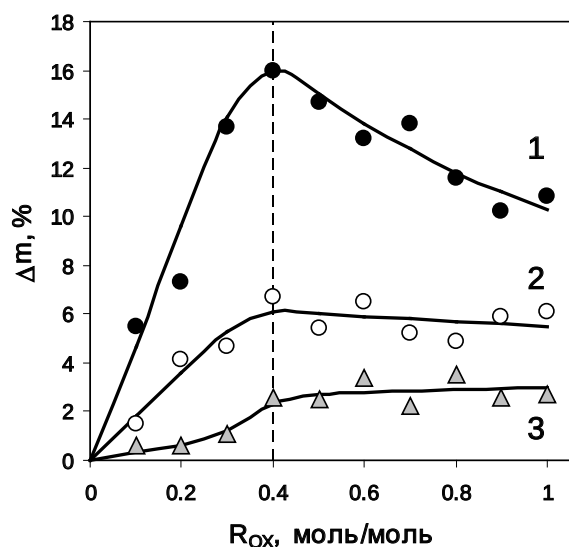


Рис. 2. Залежності приросту ваги вугілля Д (1), Ж (2) і ПС₂ (3) від співвідношення HNO₃/вуглець

З найбільш хімічно активного вугілля Д отримано модифіковані зразки (табл. 2) та АВ з них в уніфікованих умовах активації (Kucherenko et al., 2025a). Збільшення співвідношення R_{ox} викликає близьке до лінійного (R²=0.929) зменшення виходу Y_{В(М)}. Якщо виходи АВ перерахувати на вагу вихідного вугілля Д, то отримаємо вищі значення виходів Y_В. Різниця виходів ΔY=Y_В-Y_{В(М)} дає приблизні оцінки кількості нових, іммобілізованих модифікацією структурних центрів, які руйнуються в умовах активації (800°C). Найбільший вміст (6.5%) таких центрів спостерігається у АВ(Д)(М), отриманого при R_{ox}=0.4 моль/моль (табл. 2). Величина S_{ВЕТ} зростає в 1.3 рази, причому ~80% приросту поверхні відбувається в інтервалі R_{ox}≤0.4 моль/моль. Прирости ємностей для цього інтервалу складають 52% (МБ), 76% (Pb(II)) та 82% (ХФ).

Отримані дані показують, що основний вплив модифікації реалізується при

R_{ox}≤0.4 ммоль/моль. Враховуючи це, а також необхідність мінімізувати витрати HNO₃, застосування вищих значень R_{ox} є малоефективним. Наступне порівняльне дослідження вугілля різного СМ проводили за однакового значення R_{ox}=0.4 ммоль/моль.

З підвищенням СМ ступінь модифікації вугілля знижується у відповідності до зниження його реакційної здатності, що зумовлює зменшення Δm (табл. 3). Виходи АВ збільшуються для обох серій зразків та підпорядковуються рівнянням лінійної кореляції Y_В=2.16·C^{daf}-126 (R²=0.959) та Y_{В(М)}=2.72·C^{daf}-180 (R²=0.974). Різниця виходів є найбільшою для вугілля Д і з підвищенням СМ прямує до нуля. Тобто, вплив модифікації на вихід АВ суттєво зменшується з підвищенням вмісту вуглецю вихідного вугілля.

Зразки АВ(М) з модифікованого вугілля мають розвиненішу поверхню порівняно зі зразками АВ з вихідного вугілля (рис. 3). Форми залежностей питомої поверхні від C^{daf} для обох серій зразків якісно подібні та показують зменшення величин S_{ВЕТ(М)} (лінія 1) та S_{ВЕТ} (лінія 2) з підвищенням СМ вугілля.

При застосуванні відношення S_{ВЕТ(М)}/S_{ВЕТ} спостерігається наступне. З підвищенням СМ це відношення виявляє тенденцію до зменшення (R²=0.521) при переході до вугілля марки ПС. Для зразків з C^{daf} ≥90% виявлено протилежну тенденцію, а саме – різке зростання (R²=0.756) відношення S_{ВЕТ(М)}/S_{ВЕТ} при переході до антрацитів (рис. 3, лінія 3). Низхідна лінія вкладається в загальну концепцію зниження реакційної здатності вугілля зі зростанням СМ. Висхідна гілка суперечить цьому і свідчить про включення додаткового механізму структурної реорганізації просторового каркаса, який посилює взаємодію антрацитів із КОН. Це може бути викликано збільшенням просторової доступності антрацитових поліаренів для КОН внаслідок їх трансформації в оксиди графену через окиснювальне розщеплення місткових

Таблиця 2

Виходи та властивості зразків АВ(Д) та АВ(Д)(М)

Зразок	АВ(Д)	АВ(Д)(М)				
R _{ox} , моль/моль	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
Y _{В(М)} , %		43.9	40.4	39.1	37.7	33.8
Y _В , %	50.2	47.1	46.9	44.3	41.4	37.5
ΔY, %		3.2	6.5	5.2	4.3	3.7
S _{ВЕТ} , м ² /г	1685	1888	2108	2100	2216	2157
A _{ХФ(с)} , ммоль/г	3.66	4.25	4.43	4.43	4.60	4.59
A _{МБ(с)} , ммоль/г	0.72	0.83	0.91	0.90	0.97	1.09
A _{Pb(с)} , ммоль/г	0.71	0.92	1.02	1.03	1.11	1.12

Таблиця 3

Приріст ваги Δm , виходи та питома площа поверхні АВ
з вихідного та модифікованого вугілля

Марка	C^{daf} , %	Δm , %	Y_B , %	$Y_{B(M)}$, %	S_{BET} , m^2/g	$S_{BET(M)}$, m^2/g
Д	80.0	16.0	50.2	40.4	1685	2108
Γ_1	81.0	9.8	49.5	40.1	1609	2079
Γ_2	83.5	6.9	54.6	46.9	1450	1878
Ж	85.0	6.7	55.1	48.6	1636	1853
K_1	86.4	5.6	60.2	55.4	1455	1743
K_2	88.6	4.5	62.8	57.3	1213	1400
PC_1	89.4	3.0	65.5	62.1	1292	1456
PC_2	90.0	2.6	68.0	64.2	1247	1444
PC_3	90.8	2.9	70.3	67.3	1099	1384
П	91.2	1.1	74.4	71.9	1080	1379
А	93.3	0.9	74.5	72.2	752	1011
A_5	95.2	1.0	82.8	80.6	351	467

С-С зв'язків та іммобілізацію периферійних кисневих груп. Такий механізм вперше описано для окиснення антрациту азотною кислотою, але за більш жорстких умов (71%, 120°C, 5 год) (Lee et al., 2021).

катіонами свинцю є істотно меншими, причому для двох серій зразків значення $A_{MB(e)}$ близькі, тоді як значення $A_{Pb(e)}$ є вищими для зразків модифікованого вугілля АВ(М) (табл. 3). Залежності адсорбційної ємності від вмісту вуглецю вихідного вугілля представлено на рис. 4–6.

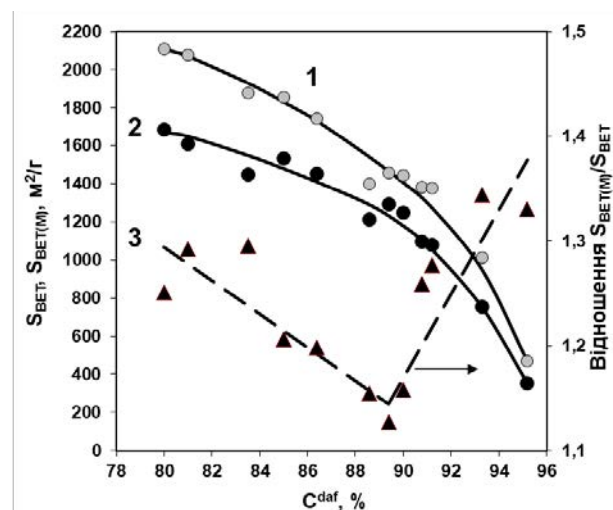


Рис. 3. Величини питомої площі поверхні $S_{BET(M)}$ (1), S_{BET} (2) та відношення $S_{BET(M)}/S_{BET}$ (3) зразків АВ, отриманих з вугілля різного ступеня метаморфізму

Таблиця 4

Адсорбційні ємності за 4-хлорфенолом, метиленовим блакитним та катіонами свинцю зразків АВ та АВ(М)

Вихідне вугілля	Адсорбційна ємність, ммоль/г					
	$A_{XФ(e)}$		$A_{MB(e)}$		$A_{Pb(e)}$	
	АВ	АВ(М)	АВ	АВ(М)	АВ	АВ(М)
Д	3.66	4.43	0.72	0.81	0.71	1.02
Γ_1	3.71	4.24	0.63	0.72	0.65	1.02
Γ_2	3.27	4.68	0.64	0.73	0.58	0.89
Ж	3.41	4.41	0.53	0.80	0.67	0.90
K_1	2.98	4.39	0.56	0.65	0.59	0.91
K_2	2.65	3.96	0.42	0.59	0.40	0.69
PC_1	2.23	3.81	0.51	0.55	0.47	0.80
PC_2	2.44	3.83	0.43	0.48	0.42	0.65
PC_3	2.03	3.79	0.35	0.38	0.29	0.51
П	2.20	3.32	0.40	0.40	0.33	0.47
А	1.25	2.30	0.24	0.27	0.16	0.25
A_5	0.39	0.99	0.05	0.08	0.06	0.09

Для отриманих двох серій зразків АВ та АВ(М) виміряно рівноважні адсорбційні ємності (табл. 4) за обраними адсорбатами в уніфікованих умовах: температура $25 \pm 0.1^\circ C$, $C_{AD(0)} = 5$ ммоль/л, час-4 год, вміст АВ-г/л.

Адсорбційна активність за різними адсорбатами істотно відрізняється для усіх зразків АВ. Найбільші значення ємностей визначено для 4-хлорфенолу ($A_{XФ(e)} \leq 4.43$ ммоль/г). Ємності за МБ та

Ємність за ХФ зразків АВ монотонно знижується зі збільшенням СМ (рис. 4, лінія 1). Найбільше значення $A_{XФ(e)}$ зареєстровано для АВ з низькометаморфізованого вугілля Γ_1 ($A_{XФ(e)} = 3.71$ ммоль/г або 480 мг/г). При переході до АВ з антрациту A_5 ємність знижується до 0.39 ммоль/г, тобто у 9.4 раза. Підкреслимо, що у першій половині дослідженого інтервалу вмісту вуглецю ($C^{daf} = 80-88\%$) зниження величини $A_{XФ(e)}$ становить $\sim 30\%$, а основне зниження ($\sim 70\%$) відповідає

області вугілля середнього та високого СМ ($C^{daf} = 88-96\%$). Серія зразків АВ(М) показує іншу залежність (рис. 4, лінія 2).

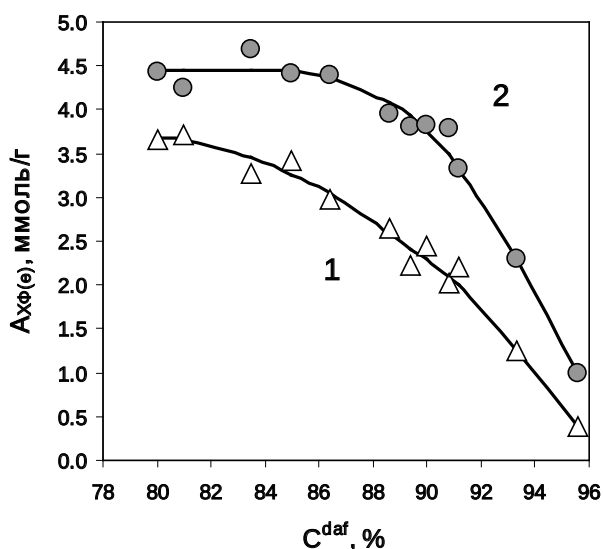


Рис. 4. Адсорбційні ємності за 4-хлорфенолом зразків АВ (1) та АВ(М) (2)

Ємність за ХФ майже не змінюється в межах вмісту вуглецю $C^{daf}=80-86\%$, а потім різко зменшується (в 4.7 раза) до антрацитових АВ. Позитивний вплив модифікації вугілля на ємність АВ за ХФ можна кількісно визначити коефіцієнтом ефективності $K_{ХФ} = A_{ХФ(e)}(AB(M)) / A_{ХФ(e)}(AB)$, який є відношенням ємностей за ХФ, визначених для АВ та АВ(М) з одного й того ж вихідного вугілля. Значення цього коефіцієнту варіюються в інтервалі $K_{ХФ}=1.14-2.54$ та демонструють чітку тенденцію до зростання зі збільшенням СМ, що найкраще апроксимується експоненціальним рівнянням $K_{ХФ}=0.0434 \cdot \exp(0.0407 \cdot C^{daf})$ ($R^2=0.802$).

Адсорбційна ємність зазвичай зростає зі збільшенням питомої поверхні матеріалу, що також зареєстровано при адсорбції ХФ в даній роботі. Зі зростанням параметра $S_{БЕТ}$ (рис. 3) значення $A_{ХФ(e)}$ збільшуються і приблизно апроксимуються лінійними рівняннями $A_{ХФ(e)}=0.0026 \cdot S_{БЕТ}-0.643$ ($R^2=0.963$) та $A_{ХФ(e)}=0.0021 \cdot S_{БЕТ(M)}-0.469$ ($R^2=0.865$). Для серії модифікованого вугілля розкид даних більший.

Величини питомої адсорбційної ємності $A_{ХФ(S)}$ наведено на рис. 5. Вони пропорційні поверхневій концентрації адсорбційних центрів, які є активними по відношенню до ХФ. Для серії зразків АВ з вихідного вугілля спостерігається монотонне зниження $A_{ХФ(S)}$, але в діапазоні $C^{daf} \leq 88\%$ воно

мало помітно, а в інтервалі $C^{daf}=88-96\%$ є суттєвим (~2 рази). Для зразків АВ(М) з модифікованого вугілля встановлено іншу закономірність: величина $A_{ХФ(S)}$ змінюється екстремально з максимумом, який відповідає зразкам АВ з вугілля з $C^{daf}=88-90\%$. Саме це АВ має найбільшу концентрацію поверхневих центрів, адсорбційно активних по відношенню до хлорфенолу, хоча приріст питомої поверхні через модифікацію є мінімальним (рис. 3).

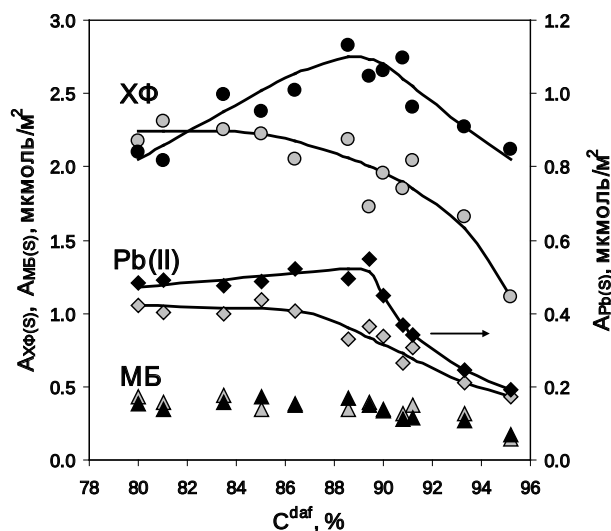


Рис 5. Питомі адсорбційні ємності за ХФ, МБ та катіонами Pb(II) зразків АВ та АВ(М); сірі маркери – АВ, чорні маркери – АВ(М)

Аналіз опублікованих даних показує, що ємності за ХФ різних за природою вуглецевих матеріалів найчастіше знаходяться в інтервалі від до 0.33 ммоль/г (нанотрубки) до 2.52 ммоль/г (АВ «Prolabo») (Chen et al., 2017). Отримані лужної активацією зразки АВ мають ємності в межах 0.48–5.16 ммоль/г (Ahmed & Theydan, 2013), а найбільше значення $A_{ХФ(e)}=6.71$ ммоль/г (863 мг/г) наведено для АВ з біомаси з питомою поверхнею $S_{БЕТ}=1968$ м²/г (Wu et al., 2011). Виміряні ємності за ХФ зразків АВ з вугілля різного СМ (табл. 3) потрапляють у зазначені інтервали, причому навіть для антрацитових АВ. Але в плані застосування АВ для очищення води від хлорфенолу найбільш ефективними є адсорбційні матеріали з низькометаморфізованого вугілля.

Ємність за МБ зразків АВ з вихідного вугілля також знижується зі зростанням СМ (рис. 6, лінія 1). Найбільше значення $A_{ХФ(e)}$ має АВ з довгополуменового вугілля ($A_{МБ(e)}=0.72$ ммоль/г або 230 мг/г).

З підвищенням вмісту вуглецю прекурсору ємність зменшується приблизно в 14 разів. Азотнокислотна модифікація веде до підвищення параметра $A_{MB(e)}$, але це помітно для вугілля з вмістом вуглецю $C^{daf}=80-88\%$. Для АВ з вугілля ПС, П і антрацитів ($C^{daf}=88-96\%$) цей ефект проявляється слабо або взагалі відсутній. Величини коефіцієнту ефективності $K_{MB}=A_{MB(e)}(AB(M))/A_{MB(e)}(AB)$ знаходяться в межах $K_{MB}=1.00-1.60$ та майже не залежать від C^{daf} ($R^2=0.030$).

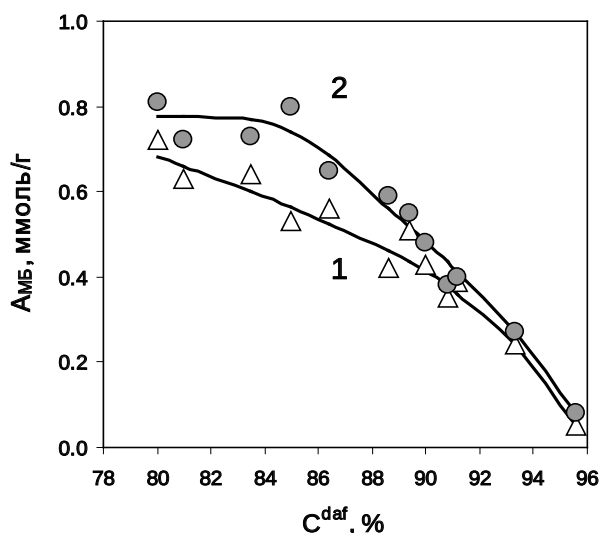


Рис. 6. Адсорбційні ємності за метиленовим блакитним зразків АВ (1) та АВ(М) (2)

Зі зростанням питомої площі поверхні значення $A_{MB(e)}$ виявляють тенденцію до зростання і апроксимуються лінійними рівняннями $A_{MB(e)}=0.0005 \cdot S_{BET}-0.131$ ($R^2=0.951$) та $A_{MB(e)}=0.0005 \cdot S_{BET(M)}-0.163$ ($R^2=0.913$). Ці залежності майже однакові, а різниця між рівняннями є несуттєвою і меншою за розкид експериментальних даних.

Величини питомої адсорбційної ємності $A_{MB(S)}$ наведено на рис. 5. Для зразків АВ і АВ(М) з вихідного вугілля в інтервалі $C^{daf} \leq 88\%$ значення $A_{MB(S)}$ перебувають в одному й тому самому інтервалі (0.35-45 мкмоль/м²), а при подальшому підвищенні СМ знижуються до $A_{MB(S)}=0.14-0.17$ мкмоль/м². Цей параметр є практично нечутливим до азотнокислотної модифікації. Порівняно з $A_{MB(S)}$ для хлорфенола, значення $A_{MB(S)}$ є в 5-12 разів менші і суттєво залежать від СМ вихідного вугілля. Можна стверджувати, що і концентрація поверхневих центрів, адсорбційно активних щодо МБ, у стільки ж разів менша.

Опубліковані значення $A_{MB(e)}$ зазвичай знаходяться в межах 0.021-2.58 ммоль/г (Jasri

et al., 2023; Dao et al., 2021; Mbarki et al., 2022), але повідомлено про значно більші ємності, а саме $A_{MB(e)}=5.50-7.04$ ммоль/г для АВ ($S_{BET}=1814-2015$ м²/г), отриманого лужною активацією ($R_{KOH}=3$ г/г) карбонізата біомаси (450°C, 1 год) (Li et al., 2021). Найбільшу ємність за МБ ($A_{MB(e)}=13.07$ ммоль/г або 4181.2 мг/г) визначено для АВ ($S_{BET}=4482$ м²/г) з біовугілля, активованого КОН ($R_{KOH}=4$ г/г) (Liu et al., 2020). Однак така ємність відповідає повному об'ємному заповненню пор та її не можна віднести до адсорбції МБ на поверхні. Виміряні в цій роботі ємності (табл. 3) ближчі до нижньої межі зазначених інтервалів, отже отримані матеріали як адсорбенти МБ не є хорошими. Крім того, параметр $A_{MB(e)}$ є мало чутливим до низькотемпературної азотнокислотної модифікації (рис. 6), тому її використання (принаймні за обраних умов) для покращення адсорбції МБ не доцільно.

Ємність за катіонами Pb(II) отриманих зразків АВ наведено на рис. 7. Залежності $A_{Pb(e)}$ від вмісту вуглецю є схожими за формою, але для серії АВ(М) значення $A_{Pb(e)}$ більші. Ємності обох серій АВ знижуються приблизно однаково (у 11-12 разів). Для АВ(М) також спостерігається нерівномірність зниження ємності: у першій половині інтервалу СМ вона становить ~35%, а основне зниження (~65%) відповідає області зразків вугілля з вмістом вуглецю $C^{daf} \geq 86\%$. Значення коефіцієнту ефективності $K_{Pb}=A_{Pb(e)}(AB(M))/A_{Pb(e)}(AB)$ вищі порівняно з адсорбцією МБ, знаходяться у вузькому інтервалі $K_{Pb}=1.34-1.76$ і також не залежать від C^{daf} ($R^2=0.069$).

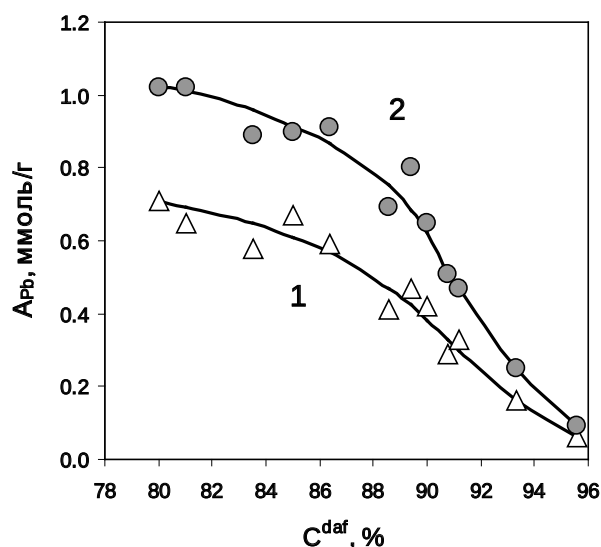


Рис. 7. Адсорбційні ємності за катіонами Pb(II) зразків АВ та АВ(М)

Зі зростанням питомої поверхні $S_{\text{ВЕТ}}$ (рис. 3) значення $A_{\text{Pb(e)}}$ збільшуються і приблизно апроксимуються лінійними рівняннями $A_{\text{Pb(e)}} = 0.0005 \cdot S_{\text{ВЕТ}} - 0.208$ ($R^2 = 0.950$) та $A_{\text{Pb(e)}} = 0.0006 \cdot S_{\text{ВЕТ(M)}} - 0.258$ ($R^2 = 0.919$). Ці залежності практично збігаються і це означає, що підвищення ємності за Pb(II) обумовлено переважно підвищенням питомої поверхні АВ внаслідок модифікації прекурсора. Величини питомої адсорбційної ємності $A_{\text{Pb(S)}}$ для обох серій АВ наведено на рис. 5. В інтервалі зразків АВ з вугілля з $C^{\text{daf}} \leq 86\%$ вони майже постійні, але для серії АВ(М) трохи більші. З підвищенням СМ значення $A_{\text{Pb(S)}}$, а отже і концентрація адсорбційних центрів знижується до найменшої у антрацитових АВ. В науковій літературі наведено наступні величини ємностей за катіонами свинцю: 0.029–0.228 ммоль/г (промислові АВ) (Asuquo et al., 2017), 0.064–1.42 ммоль/г (нанотрубки) (Ghorbani et al., 2020), 0.029–1.731 ммоль/г (біовугілля) (Jiang et al., 2023). Набагато більші величини $A_{\text{Pb(e)}}$ отримано для матеріалів на основі оксиду графіту, модифікованого поліаніліном ($A_{\text{Pb(e)}} = 6.83$ ммоль/г) або оксидом заліза та натрієм ($A_{\text{Pb(e)}} = 8.04$ ммоль/г) (Ghorbani et al., 2020). Виміряні в даній роботі ємності за Pb(II) є відносно високими, особливо для АВ з модифікованого вугілля низького СМ. Їх можна вважати перспективними адсорбентами важких металів з водних середовищ.

Бачимо, що азотнокислотна модифікація вихідного вугілля підвищує питому поверхню та адсорбційну ємність кінцевих АВ для всіх адсорбатів та прекурсорів. Ефективність її застосування збільшується у ряді адсорбатів $\text{МБ} < \text{Pb(II)} < \text{ХФ}$, але сильно змінюється при варіюванні СМ вихідного вугілля.

Найбільші адсорбційні ємності мають зразки АВ із модифікованого вугілля низького СМ, хоча ефективність їх модифікації (в прийнятих умовах) зазвичай низька. Ефективність модифікації антрацитів найбільша, але антрацитові АВ мають низькі ємності (рис. 4–6). У плані очищення води від забруднювачів тільки АВ з низькометаморфізованого вугілля мають прийнятну ємність у порівнянні з характеристиками АВ, отриманих в інших роботах. Зразки АВ з високометаморфізованого вугілля та антрацитів, модифікованих за кімнатних температур, мають погану адсорбційну активність по відношенню до обраних адсорбатів.

Подальші дослідження видаються перспективними у двох основних напрямках.

Перший – дослідження адсорбційної активності АВ з вугілля низького СМ щодо інших адсорбатів (H_2 , CO_2 , йод у газовій фазі як модельна речовина для імітації радіонуклідів у повітрі), а також визначення здатності цих АВ поглинати височастотне електромагнітне випромінювання. Другий напрямок – вивчення модифікації вихідного вугілля іншими реагентами (в першу чергу киснем повітря та пероксидом водню) та її впливу на властивості АВ. Ці дослідження виконуватимуться з урахуванням принципів "зеленої хімії".

Висновки

1. Вперше кількісно визначено вплив низькотемпературної ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) азотнокислотної модифікації вугілля різного СМ ($C^{\text{daf}} = 80.0\text{--}95.2\%$) на питому площу поверхні та адсорбційні властивості АВ, отриманих лужною активацією того ж вугілля при невеликому співвідношенні $\text{KOH}/\text{прекурсор}$ (1 г/г).

2. Зразки АВ з модифікованого вугілля мають більшу (в 1.13–1.34 рази) питому поверхню $S_{\text{ВЕТ(M)}}$ порівняно з поверхнею $S_{\text{ВЕТ}}$ зразків АВ з вихідного вугілля. Залежності $S_{\text{ВЕТ(M)}}$ та $S_{\text{ВЕТ}}$ від C^{daf} подібні та показують зменшення поверхні в 4.5–4.8 рази зі зростанням СМ.

3. Модифікація підвищує адсорбційні ємності за ХФ (в 1.14–2.54 рази), МБ (до 1.60 рази) та катіонами свинцю (в 1.34–1.76 рази). Найбільші ємності має АВ з модифікованого довгополумєнового вугілля ($C^{\text{daf}} = 80.0\%$): 4.43 ммоль/г (ХФ), 0.81 ммоль/г (МБ) та 1.02 ммоль/г (Pb). З підвищенням СМ ємності зменшуються в 4.7 рази (ХФ), 9.1 рази (МБ) та 9.9 рази (Pb).

4. Величини питомої адсорбційної ємності за ХФ зразків з модифікованого вугілля змінюється з підвищенням СМ екстремально з максимумом при $C^{\text{daf}} = 88\text{--}90\%$. Саме ці АВ мають найбільшу концентрацію поверхневих центрів, адсорбційно активних по відношенню до ХФ, хоча приріст питомої поверхні через модифікацію є мінімальним (1.13 рази). Питома ємність для МБ та Pb(II) мало змінюється в інтервалі $C^{\text{daf}} = 80\text{--}88\%$ та різко знижується к антрацитовим АВ.

5. Ґрунтуючись на порівнянні виміряних адсорбційних ємностей та описаних в літературі, можна вважати зразки АВ з модифікованого низькометаморфізованого вугілля ефективними адсорбентами для уловлювання органічних екотоксикантів та важких металів з водних середовищ.

Подяка. Автори висловлюють подяку за фінансову підтримку, надану Національною академією наук України (Державний реєстраційний номер: 0117U000022). Ми також дякуємо доктору R.D. Mysyk (Basque Research and Technology Alliance, Spain) за допомогу у проведенні адсорбційних вимірювань та розрахунків ізотерм низькотемпературної адсорбції азоту.

Список використаної літератури

- Ahmed M.J., Theydan S.K. Adsorption of *p*-chlorophenol onto microporous activated carbon from Albizia lebeck seed pods by one-step microwave assisted activation. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2013. Vol. 100. P. 253–260. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.01.008>.
- Asuquo E., Martin A., Nzerem P., Siperstein F., Fan X. Adsorption of Cd (II) and Pb (II) ions from aqueous solutions using mesoporous activated carbon adsorbent: Equilibrium, kinetics and characterisation studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2017. Vol. 5. № 1. P. 679–698. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.12.043>.
- Bergna D., Varila T., Romar H., Lassi U. Activated carbon from hydrolysis lignin: Effect of activation method on carbon properties. *Biomass and Bioenergy*. 2022. Vol.159. 106387. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106387>
- Bora M., Bhattacharjya D., Saikia B.K. Coal-derived activated carbon for electrochemical energy storage: status on supercapacitor, Li-Ion battery, and Li-S battery applications. *Energy & Fuels*. 2021. Vol. 35. № 22. P. 18285–18307. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c02518>
- Chen C., Geng X., Huang W. Adsorption of 4-chlorophenol and aniline by nanosized activated carbons. *Chemical Engineering Journal*. 2017. Vol. 327. P. 941–952. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.06.183>.
- Dao M.U., Le H.S., Hoang H.Y., Tran V.A., Doan V.D., Le T.T.N., Sirotkin A. Natural core-shell structure activated carbon beads derived from Litsea glutinosa seeds for removal of methylene blue: facile preparation, characterization, and adsorption properties. *Environmental Research*. 2021. Vol. 198. 110481. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110481>.
- Dong D., Xiao Y. Recent progress and challenges in coal-derived porous carbon for supercapacitor applications. *Chemical Engineering Journal*. 2023. Vol. 470. 144441. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.144441>.
- Gao X., Yang S., Hu L., Cai S., Wu L., Kawi S. Carbonaceous materials as adsorbents for CO₂ capture: synthesis and modification. *Carbon Capture Science & Technology*. 2022. Vol. 3. 100039. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2022.100039>
- Ghorbani M., Seyedin O., Aghamohammadhassan M. Adsorptive removal of lead (II) ion from water and wastewater media using carbon-based nanomaterials as unique sorbents: A review. *Journal of Environmental Management*. 2020. Vol. 254. 109814. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109814>.
- Hamayli H., Nosratinia F., Rashidi A., Ardjmand M. Anthracite coal-derived activated carbon as an effectiveness adsorbent for superior gas adsorption and CO₂ / N₂ and CO₂ / CH₄ selectivity: Experimental and DFT study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2022. Vol. 10. № 1. 107007. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.107007>
- Jasri K., Abdulhameed A.S., Jawad A.H., Al Othman Z.A., Yousef T.A., Al Duaij O.K. Mesoporous activated carbon produced from mixed wastes of oil palm frond and palm kernel shell using microwave radiation-assisted K₂CO₃ activation for methylene blue dye removal: Optimization by response surface methodology. *Diamond and Related Materials*. 2023. Vol. 131. 109581. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2022.109581>.
- Jiang J., Li R., Yang K., Li Y., Deng L., Che D. Investigation on Pb²⁺ adsorption characteristics by AAEMs-rich biochar in aqueous solution: Performance and mechanism. *Environmental Research*. 2023. Vol. 236. Part. 1. 116731. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116731>.
- Kim J.H., Hwang S.Y., Park J.E., Lee G.B., Kim H., Kim S., Hong B.U. Impact of the oxygen functional group of nitric acid-treated activated carbon on KOH activation reaction. *Carbon Letters*. 2019. Vol. 29. P. 281–287. <https://doi.org/10.1007/s42823-019-00024-0>.
- Kucherenko V., Tamarkina Y., Redko A., Frolova I. Adsorbents derived from nitric acid-oxidised coal and activated with potassium hydroxide. *Technologies and Engineering*. 2025. Vol. 26. № 3. P. 24–37. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2025.3.2>.
- Kucherenko V.O., Tamarkina Yu.V., Sabierova V.O., Nechitaylov M.M. Anthracite nanoporous carbons obtained by nitric acid intercalation followed by alkaline activation. *Хімія, фізика та технологія поверхні*. 2025. Т. 16. № 2. С. 238–252. <https://doi.org/10.15407/hftp16.02.238>.

- Kunarbekova M., Busquets R., Sailaukhanuly Ye., Mikhailovsky S.V., Toshtay K., Kudaibergenov K., Azat S. Carbon adsorbents for the uptake of radioactive iodine from contaminated water effluents: A systematic review. *Journal of Water Process Engineering*. 2024. Vol. 67. 106174. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106174>.
- Lee S.-Yi., Mahajan R.L. A facile method for coal to graphene oxide and its application to a biosensor. *Carbon*. 2021. Vol. 181. P. 408–420. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.05.007>
- Li H., He X., Wu T., Jin B., Yang L., Qiu J. Synthesis, modification strategies and applications of coal-based carbon materials. *Fuel Processing Technologies*. 2022. Vol. 230. 107203. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107203>.
- Li H., Budarin V.L., Clark J.H., North M., Wu X. Rapid and efficient adsorption of methylene blue dye from aqueous solution by hierarchically porous, activated starbons®: Mechanism and porosity dependence. *Journal of Hazardous Materials*. 2022. Vol. 436. 129174. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129174>.
- Li L., Wu M., Song C., Liu L., Gong W., Ding Y., Yao J. Efficient removal of cationic dyes via activated carbon with ultrahigh specific surface derived from vinasse wastes. *Bioresource Technologies*. 2021. Vol. 322. 124540. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124540>.
- Liu G., Qiu L., Deng H., Wang J., Yao L., Deng L. Ultrahigh surface area carbon nanosheets derived from lotus leaf with super capacities for capacitive deionization and dye adsorption. *Applied Surface Science*. 2020. Vol. 524. 146485. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.146485>.
- Mbarki F., Selmi T., Kesraoui A., Seffen M. Low-cost activated carbon preparation from Corn stigmata fibers chemically activated using H_3PO_4 , ZnCl_2 and KOH: Study of methylene blue adsorption, stochastic isotherm and fractal kinetic. *Industrial Crops and Products*. 2022. Vol. 178. Article 114546. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114546>.
- Pietrzak R., Nowicki P., Wachowska H. The influence of oxidation with nitric acid on the preparation and properties of active carbon enriched in nitrogen. *Applied Surface Science*. 2009. Vol. 255. № 6. P. 3586–3593. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.10.002>.
- Тамаркіна Ю.В., Аніщенко В.М., Редько А.М., Кучеренко В.О. Активоване лугом викопне вугілля. Мікропориста структура та здатність адсорбувати фенольні сполуки. *Хімія, фізика та технологія поверхні*. 2022. Т. 13. № 1. С. 111–124. <https://doi.org/10.15407/hftp13.01.111>.
- Tellez-Juárez M.C., Fierro V., Zhao W., Fernández-Huerta N., Izquierdo M.T., Reguera E., Celzard A. Hydrogen storage in activated carbons produced from coals of different ranks: Effect of oxygen content. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2014. Vol. 39. № 10. P. 4996–5002. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.01.071>.
- Vasanth Kumar K., Preuss K., Titirici M.-M., Rodríguez-Reinoso F. Nanoporous materials for the onboard storage of natural gas. *Chemical Review*. 2017. Vol. 117. № 3. P. 1796–1825. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00505>.
- Wu F.-C., Wu P.-H., Tseng R.-L., Juang R.-S. Preparation of novel activated carbons from H_2SO_4 -pretreated corncob hulls with KOH activation for quick adsorption of dye and 4-chlorophenol. *Journal of Environmental Management*. 2011. Vol. 92. № 3. P. 708–713. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.003>.
- Wu P., Wang Y., Liu Y. Recent advances in heteroatom-doped porous carbon for adsorption of gaseous pollutants. *Chemical Engineering Journal*. 2024. Vol. 491. 152142. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.152142>.
- Xing B.-L., Guo H., Chen L.-J., Chen Z.-F, Zhang C.-X., Huang G.-X., Xie W., Yu J.-L. Lignite-derived high surface area mesoporous activated carbons for electrochemical capacitors. *Fuel Processing Technology*. 2015. Vol. 138. P. 734–742. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.07.017>.
- Zhao C., Ge L., Mai L., Li X., Chen S., Li Q., Li S., Yao L., Wang Y., Xu C. Review on coal-based activated carbon: preparation, modification, application, regeneration, and perspectives. *Energy & Fuels*. 2023. Vol. 37. Is. 16. P. 11622–11642. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.3c01866>.
- Zhao X.-Y., Huang S.-S., Cao J.-P., Xi S.-C., Wei X.-Y., Kamamoto J., Takarada T. KOH activation of a HyperCoal to develop activated carbons for electric double-layer capacitors. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2014. Vol. 105. P. 116–121. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.10.010>.

References

- Ahmed, M.J., & Theydan, S.K. (2013). Adsorption of p-chlorophenol onto microporous activated carbon from Albizia lebbek seed pods by one-step microwave assisted activation. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 100, 253–260. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.01.008> [in English].

- Asuquo, E., Martin, A., Nzerem, P., Siperstein, F., & Fan X. (2017). Adsorption of Cd (II) and Pb (II) ions from aqueous solutions using mesoporous activated carbon adsorbent: Equilibrium, kinetics and characterisation studies. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 5(1), 679–698. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.12.043> [in English].
- Bergna, D., Varila, T., Romar, H., & Lassi, U. (2022). Activated carbon from hydrolysis lignin: Effect of activation method on carbon properties. *Biomass and Bioenergy*, 159, 106387. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106387> [in English].
- Bora, M., Bhattacharjya, D., & Saikia, B.K. (2021). Coal-derived activated carbon for electrochemical energy storage: status on supercapacitor, Li-Ion battery, and Li-S battery applications. *Energy & Fuels*, 35(22), 18285–18307. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c02518> [in English].
- Chen, C., Geng, X., & Huang, W. Adsorption of 4-chlorophenol and aniline by nanosized activated carbons. *Chemical Engineering Journal*, 327, 941–952. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.06.183> [in English].
- Dao, M.U., Le, H.S., Hoang, H.Y., Tran, V.A., Doan, V.D., Le, T.T.N., & Sirotkin, A. (2021). Natural core-shell structure activated carbon beads derived from Litsea glutinosa seeds for removal of methylene blue: facile preparation, characterization, and adsorption properties. *Environmental Research*, 198, 110481. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110481> [in English].
- Dong, D., & Xiao, Y. (2023). Recent progress and challenges in coal-derived porous carbon for supercapacitor applications. *Chemical Engineering Journal*, 470, 144441. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.144441> [in English].
- Gao, X., Yang, S., Hu, L., Cai, S., Wu, L., & Kawi, S. (2022). Carbonaceous materials as adsorbents for CO₂ capture: synthesis and modification. *Carbon Capture Science & Technology*, 3, 100039. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2022.100039> [in English].
- Ghorbani, M., Seyedin, O., & Aghamohammadhassan, M. (2020). Adsorptive removal of lead (II) ion from water and wastewater media using carbon-based nanomaterials as unique sorbents: A review. *Journal of Environmental Management*, 254, 109814. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109814> [in English].
- Hamyali, H., Nosratinia, F., Rashidi, A., & Ardjmand, M. (2022). Anthracite coal-derived activated carbon as an effectiveness adsorbent for superior gas adsorption and CO₂/N₂ and CO₂/CH₄ selectivity: Experimental and DFT study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(1), 107007. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.107007> [in English].
- Jasri, K., Abdulhameed, A.S., Jawad, A.H., Al Othman, Z.A., Yousef, T.A., & Al Duaij, O.K. (2023). Mesoporous activated carbon produced from mixed wastes of oil palm frond and palm kernel shell using microwave radiation-assisted K₂CO₃ activation for methylene blue dye removal: Optimization by response surface methodology. *Diamond and Related Materials*, 131, 109581. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2022.109581> [in English].
- Jiang, J., Li R., Yang, K., Li, Y., Deng, L., & Che, D. (2023). Investigation on Pb²⁺ adsorption characteristics by AAEMs-rich biochar in aqueous solution: Performance and mechanism. *Environmental Research*, 236(1), 116731. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116731> [in English].
- Kim, J.H., Hwang, S.Y., Park, J.E., Lee, G.B., Kim, H., Kim, S., & Hong, B.U. (2019). Impact of the oxygen functional group of nitric acid-treated activated carbon on KOH activation reaction. *Carbon Letters*, 29, 281–287. <https://doi.org/10.1007/s42823-019-00024-0> [in English].
- Kucherenko, V.O., Tamarkina, Yu.V., Sabierova, V.O., & Nechitaylov, M.M. (2025a). Anthracite nanoporous carbons obtained by nitric acid intercalation followed by alkaline activation. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*, 16(2), 238–252. <https://doi.org/10.15407/hftp16.02.238> [in English].
- Kucherenko, V., Tamarkina, Y., Redko, A., & Frolova, I. (2025b). Adsorbents derived from nitric acid-oxidised coal and activated with potassium hydroxide. *Technologies and Engineering*, 26(3), 24–37. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2025.3.2> [in English].
- Kunarbekova, M., Busquets, R., Sailaukhanuly, Ye., Mikhlovsky, S.V., Toshtay, K., Kudaibergenov, K., & Azat S. (2024). Carbon adsorbents for the uptake of radioactive iodine from contaminated water effluents: A systematic review. *Journal of Water Process Engineering*, 67, 106174. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106174> [in English].
- Lee, S.-Yi., & Mahajan, R.L. (2021). A facile method for coal to graphene oxide and its application to a biosensor. *Carbon*, 181, 408–420. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.05.007> [in English].
- Li, H., He, X., Wu, T., Jin, B., Yang, L., & Qiu, J. (2022a). Synthesis, modification strategies and applications of coal-based carbon materials. *Fuel Processing Technology*, 230, 107203. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107203> [in English].

- Li, H., Budarin, V.L., Clark, J.H., North, M., & Wu, X. (2022b). Rapid and efficient adsorption of methylene blue dye from aqueous solution by hierarchically porous, activated starbons®: Mechanism and porosity dependence. *Journal of Hazardous Materials*, 436, 129174. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129174> [in English].
- Li, L., Wu, M., Song, C., Liu, L., Gong, W., Ding, Y., & Yao, J. (2021). Efficient removal of cationic dyes via activated carbon with ultrahigh specific surface derived from vinasse wastes. *Bioresource Technologies*, 322, 124540. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124540> [in English].
- Liu, G., Qiu, L., Deng, H., Wang, J., Yao, L., & Deng, L. (2020). Ultrahigh surface area carbon nanosheets derived from lotus leaf with super capacities for capacitive deionization and dye adsorption. *Applied Surface Science*, 524, 146485. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.146485> [in English].
- Mbarki, F., Selmi, T., Kesraoui, A., & Seffen, M. (2022). Low-cost activated carbon preparation from Corn stigmata fibers chemically activated using H_3PO_4 , $ZnCl_2$ and KOH: Study of methylene blue adsorption, stochastic isotherm and fractal kinetic. *Industrial Crops and Products*, 178, 114546. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114546> [in English].
- Pietrzak, R., Nowicki, P., & Wachowska, H. (2009). The influence of oxidation with nitric acid on the preparation and properties of active carbon enriched in nitrogen. *Applied Surface Science*, 255(6), 3586–3593. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.10.002> [in English].
- Tamarkina, Yu.V., Anishchenko, V.M., Redko, A.M., & Kucherenko, V.O. (2022). Alkali activated coals. Microporous structure and capability to adsorb phenol compounds. *Himia, Fizika ta Tehnologia Poverhni*, 13(1), 111–124. <https://doi.org/10.15407/hftp13.01.111> [in Ukrainian].
- Tellez-Juárez, M.C., Fierro, V., Zhao, W., Fernández-Huerta, N., Izquierdo, M.T., Reguera, E., & Celzard, A. (2014). Hydrogen storage in activated carbons produced from coals of different ranks: Effect of oxygen content. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(10), 4996–5002. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.01.071> [in English].
- Vasanth Kumar, K., Preuss, K., Titirici, M.-M., & Rodríguez-Reinoso, F. (2017). Nanoporous materials for the onboard storage of natural gas. *Chemical Review*, 117(3), 1796–1825. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00505> [in English].
- Wu, F.-C., Wu, P.-H., Tseng, R.-L., & Juang, R.-S. (2011). Preparation of novel activated carbons from H_2SO_4 -pretreated corncob hulls with KOH activation for quick adsorption of dye and 4-chlorophenol. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 708–713. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.003> [in English].
- Wu, P., Wang, Y., & Liu, Y. (2024). Recent advances in heteroatom-doped porous carbon for adsorption of gaseous pollutants. *Chemical Engineering Journal*, 491, 152142. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.152142> [in English].
- Xing, B.-L., Guo, H., Chen, L.-J., Chen, Z.-F., Zhang, C.-X., Huang, G.-X., Xie, W., & Yu, J.-L. (2015). Lignite-derived high surface area mesoporous activated carbons for electrochemical capacitors. *Fuel Processing Technology*, 138, 734–742. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.07.017> [in English].
- Zhao, C., Ge, L., Mai, L., Li, X., Chen, S., Li, Q., Li, S., Yao, L., Wang, Y., & Xu, C. (2023). Review on coal-based activated carbon: preparation, modification, application, regeneration, and perspectives. *Energy & Fuels*, 37(16), 11622–11642. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.3c01866> [in English].
- Zhao, X.-Y., Huang, S.-S., Cao, J.-P., Xi, S.-C., Wei, X.-Y., Kamamoto, J., & Takarada, T. (2014). KOH activation of a HyperCoal to develop activated carbons for electric double-layer capacitors. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 105, 116–121. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.10.010> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 02.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



АГРОНОМІЯ

УДК 633.854.78:631.5:631.16:620.9

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.15>

АГРОТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ТА БІОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОЩУВАННЯ РІЗНОСТИГЛИХ ГІБРИДІВ СОНЯШНИКУ В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

А. В. Алексєєв¹, О. О. Іжбодін²

У сучасних умовах агровиробництва соняшник залишається провідною олійною культурою України, а підвищення ефективності його вирощування в зоні Північного Степу набуває особливої актуальності через посилення абіотичних стресів, значну мінливість погодних умов і зростання вартості матеріально-технічних ресурсів. За таких умов важливим є не лише одержання високої врожайності насіння, а й забезпечення економічної доцільності та біоенергетичної виправданості окремих технологічних заходів. Одним із перспективних шляхів оптимізації технології є поза-кореневе застосування стимуляторів росту, однак їх ефективність залежить від генотипових особливостей гібридів і умов року, що потребує диференційованої оцінки. Метою дослідження було встановити особливості формування економічної та біоенергетичної ефективності вирощування гібридів соняшнику різних груп стиглості залежно від застосування стимуляторів росту в умовах Північного Степу України. Аналіз проведено в 2023–2025 рр. на основі результатів польових досліджень з вивчення різностиглих гібридів соняшнику (фактор А): БЕЛЬВЕДЕР, СУОМІ, ЕС ЕЛЕНІС, АЛБКАНТАРА, НК КОНДІ та СИ АМАЗОНІЯ. Агротехнологічні заходи базувалися на вивченні ефективності позакореневої обробки рослин соняшнику (фактор В): контроль без обробки, Вимпел 2 (0,5 л/га), Авангард Гроу Аміно (1,5 л/га) та Авангард Гроу Гумат (1,0 л/га). Економічну ефективність визначали за показниками валової вартості продукції, виробничих витрат, умовно чистого прибутку та рівня рентабельності, а біоенергетичну – за витратами сукупної енергії, виходом валової енергії, енергоємністю 1 т насіння та коефіцієнтом енергетичної ефективності. Встановлено, що застосування стимуляторів росту в усіх досліджуваних гібридів забезпечувало підвищення врожайності, а отже і покращення економічних та біоенергетичних показників порівняно з контролем. Найвищу економічну ефективність зафіксовано при використанні препарату Авангард Гроу Гумат, де умовно чистий прибуток становив 59509–70339 грн/га, а рівень рентабельності зростав до 251,0–296,7 % залежно від гібриду. Максимальні значення одержано у середньораннього гібрида АЛБКАНТАРА, де умовно чистий прибуток досягав 70339 грн/га, а рентабельність – 296,7 %. Біоенергетичний аналіз показав, що за незначного збільшення витрат сукупної енергії до 18,20–18,24 ГДж/га застосування стимуляторів істотно підвищувало вихід валової

¹ аспірант кафедри рослинництва
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро)
e-mail: aleksieiev.av@dsau.dp.ua
ORCID: 0009-0005-2911-0478

² кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри рослинництва
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро)
e-mail: izhboldin.o.o@dsau.dp.ua
ORCID: 0000-0002-8076-7206

енергії в насінні, знижувало енергоємність одиниці продукції та збільшувало коефіцієнт енергетичної ефективності до 3,55–4,38. Найкращі показники біоенергетичної ефективності також забезпечував препарат Авангард Гроу Гумат особливо на гібридах АЛКАНТАРА, ЕС ЕЛЕНІС і НК КОНДІ. Перспективи подальших досліджень і практичного впровадження полягають в удосконаленні диференційованого застосування стимуляторів росту у посівах соняшнику з метою підвищення прибутковості виробництва насіння та енергетичної ефективності технології.

Ключові слова: позакореневі обробки, рентабельність виробництва, коефіцієнт енергетичної ефективності, енергоємність насіння, адаптивність генотипів, олійна культура.

AGROTECHNOLOGICAL MEASURES FOR IMPROVING THE ECONOMIC AND BIOENERGETIC EFFICIENCY OF CULTIVATING SUNFLOWER HYBRIDS OF DIFFERENT MATURITY GROUPS UNDER THE CONDITIONS OF THE NORTHERN STEPPE OF UKRAINE

A. V. Aleksieiev, O. O. Izhboldin

Under current agricultural production conditions, sunflower remains the leading oilseed crop in Ukraine, and improving the efficiency of its cultivation in the Northern Steppe zone is becoming especially relevant due to increasing abiotic stresses, considerable variability of weather conditions, and rising costs of material and technical resources. Under such conditions, it is important not only to obtain high seed yields, but also to ensure the economic feasibility and bioenergetic justification of individual technological measures. One of the promising ways to optimize the cultivation technology is the foliar application of growth stimulants; however, their effectiveness depends on the genotypic characteristics of hybrids and yearly growing conditions, which requires a differentiated assessment. The aim of the study was to determine the peculiarities of the formation of economic and bioenergetic efficiency in the cultivation of sunflower hybrids of different maturity groups depending on the application of growth stimulants under the conditions of the Northern Steppe of Ukraine. The analysis was carried out in 2023–2025 on the basis of field experiment results involving sunflower hybrids of different maturity groups (factor A): BELVEDERE, SUOMI, ES ELENIS, ALCANTARA, NK KONDI, and SY AMAZONE. The agrotechnological treatments were based on studying the effectiveness of foliar treatment of sunflower plants (factor B): untreated control, Vympel 2 (0.5 L/ha), Avanhard Grow Amino (1.5 L/ha), and Avanhard Grow Humate (1.0 L/ha). Economic efficiency was determined by gross production value, production costs, conditionally net profit, and profitability level, while bioenergetic efficiency was assessed by total energy input, gross energy output, energy intensity per 1 t of seeds, and the energy efficiency coefficient. It was established that the application of growth stimulants in all studied hybrids ensured an increase in yield and, consequently, improved economic and bioenergetic indicators compared with the control. The highest economic efficiency was recorded with the use of Avanhard Grow Humate, where conditionally net profit amounted to 59.5–70.3 thousand UAH/ha, and profitability increased to 251.0–296.7% depending on the hybrid. The maximum values were obtained for the medium-early hybrid ALCANTARA, where profit reached 70.3 thousand UAH/ha and profitability 296.7%. Bioenergetic analysis showed that, with only a slight increase in total energy input to 18.20–18.24 GJ/ha, the use of stimulants significantly increased gross energy output in seeds, reduced the energy intensity per unit of production, and raised the energy efficiency coefficient to 3.55–4.38. The best bioenergetic efficiency indicators were also provided by Avanhard Grow Humate, especially in the hybrids ALCANTARA, ES ELENIS, and NK KONDI. Prospects for further research and practical implementation lie in improving the differentiated use of growth stimulants in sunflower crops in order to increase the profitability of seed production and the energy efficiency of the technology.

Key words: foliar treatments, production profitability, coefficient of energy efficiency, seed energy intensity, genotype adaptability, oilseed crop.

Вступ

Соняшник залишається провідною олійною культурою України, а в умовах Степу рівень реалізації його продуктивного потенціалу дедалі сильніше визначається взаємодією посухи, високих температур, нестійкого зволоження та контрастності погодних умов упродовж вегетації. За таких умов тех-

нологічні прийоми мають оцінюватися не лише за приростом урожайності, а й за здатністю підвищувати економічну віддачу та енергетичну доцільність виробництва. Саме тому позакореневе застосування стимуляторів росту розглядають як один із інструментів регулювання фізіологічного стану рослин, підвищення стійкості до абіотичних

стресів і стабілізації продуктивності соняшнику (Melnyk et al., 2019; Tsyliuryk et al., 2021; Aksyonov et al., 2025).

У сучасних дослідженнях показано, що біологічні препарати, регулятори росту й позакореневі обробки можуть активізувати ріст рослин, покращувати розвиток листкового апарату, підсилювати фотосинтетичну діяльність і формувати додаткові передумови для зростання врожайності насіння соняшнику, але ефект таких обробок істотно залежить від генотипу гібриду та погодних умов року (Onyshchenko et al., 2023; Palamarchuk, 2023; Pichura et al., 2023). За даними робіт, виконаних у Степу та Лісостепу України, застосування стимуляторів або біостимуляторів у технології вирощування соняшнику найчастіше супроводжується посиленням ростових процесів, збільшенням листкової поверхні, покращенням морфоструктури посіву та підвищенням урожайності, проте величина реакції відрізняється у гібридів різних груп стиглості (Єременко та ін., 2017; Kalenska et al., 2020; Akuaku et al., 2020; Тоцький та ін., 2023; Тоцький та ін., 2024).

Окремий блок досліджень акцентує, що продуктивність соняшнику є генотип-і середовищно-залежною ознакою, а екологічна пластичність і стабільність гібридів змінюють ефективність будь-якого технологічного заходу, включно із стимуляторами росту (Єременко та ін., 2017; Каленська та Риженко, 2020; Kalenska et al., 2020; Debaeke et al., 2017). Водночас у низці праць доведено, що в умовах стресу позитивний ефект обробок проявляється насамперед через підтримання фотосинтетичного апарату, кращу реалізацію асиміляційного потенціалу та часткову компенсацію втрат урожайності (Onyshchenko et al., 2023; Гангур та Космінський, 2024). Це особливо важливо для Північного Степу України, де різниця між гібридами за реакцією на рік і агротехнічний захід може бути значною.

Не менш актуальним є питання інтегральної оцінки технологічного прийому. Для виробництва важливо не лише отримати приріст урожаю, а й переконатися, що додаткові витрати на препарат і внесення компенсуються вищою валовою вартістю продукції та зростанням прибутку. Так само біоенергетичний аналіз дає можливість оцінити, чи супроводжується приріст продуктивності зниженням енергоємності одиниці продукції та підвищенням коефіцієнта енергетичної ефективності, що є важливою

ознакою ресурсної збалансованості технології (Hanhur & Kosminskyi, 2024; Поляков та ін., 2024). В останні роки інтерес до поєднаної економічної та біоенергетичної оцінки соняшнику помітно зріс, однак більшість робіт стосується удобрення, густоти стояння, живлення або загальних моделей продуктивності, тоді як диференційована оцінка саме стимуляторів росту на гібридах різних груп стиглості висвітлена недостатньо (Tkalic et al., 2019; Pichura et al., 2023; Поляков та ін., 2024;).

Метою дослідження було встановити особливості економічної та біоенергетичної ефективності застосування стимуляторів росту при вирощуванні гібридів соняшнику різних груп стиглості в умовах Північного Степу України та обґрунтувати доцільність диференційованого підходу до вибору препарату з урахуванням рівня врожайності, прибутковості та енергетичної віддачі технології.

Матеріал і методи

Полеві дослідження виконували у 2023–2025 рр. на науково-дослідному полі Навчально-наукового центру Дніпровського державного аграрно-економічного університету. До фактору А було віднесено шість гібридів соняшнику різних груп стиглості: ранньостиглі – БЕЛЬВЕДЕР і СУОМІ, середньоранні – ЕС ЕЛЕНІС і АЛЬКАНТАРА, середньостиглі – НК КОНДІ та СИ АМАЗОНІЯ. Фактором В були варіанти позакореневого застосування стимуляторів росту: 1 – без обробки (контроль), 2 – Вимпел 2 при нормі 0,5 л/га, 3 – Авангард Гроу Аміно при нормі 1,5 л/га, 4 – Авангард Гроу Гумат при нормі 1,0 л/га.

Для економічної оцінки використовували середню врожайність за 2023–2025 рр. по кожному гібриду та стимулятору росту. Економічні розрахунки проведено у цінах станом на кінець комерційного 2025 року. Умовно чистий прибуток розраховували як різницю між валовою вартістю продукції та виробничими витратами, рівень рентабельності – як відношення прибутку до витрат, виражене у відсотках.

Біоенергетичну оцінку здійснювали за показниками витрат сукупної енергії, виходу валової енергії в насінні, енергоємності 1 т насіння та коефіцієнта енергетичної ефективності. Вихід валової енергії в насінні визначали розрахунково за енергетичним еквівалентом 24,18 МДж/кг насіння. Витрати сукупної енергії на контрольному варіанті становили 18,10 ГДж/га,

для варіантів з позакореневими обробками вони були збільшені відповідно до додаткових витрат на препарат і операцію внесення та становили 18,20–18,24 ГДж/га. Енергоємність 1 т насіння розраховували як відношення сукупних енерговитрат до врожайності, коефіцієнт енергетичної ефективності – як відношення валової енергії врожаю до сукупних витрат енергії.

Результати та їх обговорення

У середньому за 2023–2025 рр. встановлено, що застосування стимуляторів росту при вирощуванні гібридів соняшнику різних груп стиглості забезпечувало стабільне підвищення економічної та біоенергетичної ефективності технології порівняно з контролем. За врожайності на рівні 2,45–3,30 т/га, валовій вартості продукції 69825–94050 грн/га, виробничих витратах 23550–23921 грн/га та умовно чистому прибутку 46275–70339 грн/га чітко простежувалася перевага варіантів із позакореневим застосуванням стимуляторів росту над контрольним варіантом. Найвищі економічні показники формувалися за використання препарату Авангард Гроу Гумат, де рівень рентабельності досягав 251,0–296,7 % залежно від гібриду, тоді як на контролі він становив 196,5–246,1 %. Найвищу економічну ефективність забезпечив гібрид АЛКАНТАРА у варіанті з препаратом Авангард Гроу Гумат, де за врожайності 3,30 т/га валова вартість продукції становила 94050 грн/га, умовно чистий прибуток – 70339 грн/га, а рівень рентабельності – 296,7 %.

У ранньостиглій групі гібридів на контролі економічні показники були найнижчими, а саме у гібриду БЕЛВЕДЕРА врожайність становила 2,51 т/га, умовно чистий прибуток – 47985 грн/га, рентабельність – 203,8 %, у гібриду СУОМІ 2,45 т/га, 46275 грн/га і 196,5 %, відповідно. Застосування препарату Вимпел 2 підвищувало врожайність до 2,75–2,67 т/га, а умовно чистий прибуток – до 54564–52284 грн/га, відповідно. При використанні препарату Авангард Гроу Аміно показники врожайності зростали до 2,87–2,81 т/га, а умовно чистий прибуток – до 57874–56164 грн/га (табл. 1).

Максимальні значення в цій групі забезпечував препарат Авангард Гроу Гумат, а саме у гібриду БЕЛВЕДЕРА врожайність досягала 3,05 т/га, умовно чистий прибуток – 63214 грн/га, рентабельність – 266,6 %, у гібриду СУОМІ – 2,92 т/га, 59509 грн/га і 251,0 %, відповідно. Отже, навіть у менш продуктивних ранньостиглих гібридів стимулятори росту забезпечували при-

ріст умовно чистого прибутку на 13234–15229 грн/га порівняно з контролем.

У середньоранній групі ефективність від застосування стимуляторів росту була ще виразнішою. У гібрида ЕСЕЛЕНІС на контролі врожайність становила 2,60 т/га, умовно чистий прибуток – 50550 грн/га, рентабельність – 214,6 %, тоді як за використання препарату Авангард Гроу Гумат ці показники зростали до 3,27 т/га, 69484 грн/га і 293,0 %, відповідно. Подібна закономірність спостерігалася і у гібриду соняшнику АЛКАНТАРА, який уже на контролі формував відносно високі показники – 2,77 т/га врожайності, 55395 грн/га умовно чистого прибутку та 235,2 % рентабельності, а у варіанті з препаратом Авангард Гроу Гумат досягав максимального значення – 3,30 т/га, 70339 грн/га та 296,7 %, відповідно. Препарат Авангард Гроу Аміно також забезпечував високий економічний ефект, але дещо поступався гуматовмісному препарату Авангард Гроу Гумат, де у гібриду ЕС ЕЛЕНІС умовно чистий прибуток становив 65854 грн/га, у гібриду АЛКАНТАРИ – 65569 грн/га, а рентабельність 275,3 і 274,1 %, відповідно.

Серед середньостиглих гібридів найбільш високий контрольний рівень економічної ефективності відзначено у НК КОНДІ, де без застосування препаратів урожайність становила 2,86 т/га, умовно чистий прибуток – 57960 грн/га, рентабельність – 246,1 %. За використання препаратів Вимпел 2 та Авангард Гроу Аміно умовно чистий прибуток зростав до 63684 і 65284 грн/га, а рентабельність – до 267,5 і 272,9 %, відповідно. Найвищі показники також формувалися у варіанті з Авангард Гроу Гумат, де врожайність досягала 3,27 т/га, умовно чистий прибуток – 69484 грн/га, рентабельність – 293,0 %. У гібрида СИ АМАЗОНІЯ тенденція була аналогічною, хоча абсолютні показники були дещо нижчими, а саме на контрольному варіанті умовно чистий прибуток становив 54825 грн/га, а за використання Авангард Гроу Гумат – 65494 грн/га при рентабельності 276,2 %.

Аналіз біоенергетичної ефективності підтвердив встановлені економічні закономірності. За середньої врожайності насіння гібридів соняшнику з 2023 по 2025 роки, яка знаходилася в межах 2,45–3,30 т/га витрати сукупної енергії змінювалися лише в діапазоні 18,10–18,24 ГДж/га, тобто застосування стимуляторів росту не спричиняло істотного збільшення енергетичного навантаження технології (табл. 2).

Таблиця 1

Економічна ефективність застосування стимуляторів росту при вирощуванні гібридів соняшнику різних груп стиглості (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид	Варіант досліджу	Врожайність, т/га	Валова вартість продукції, грн/га	Виробничі витрати, грн/га	Умовно чистий прибуток, грн/га	Рівень рентабельності, %
БЕЛЬВЕДЕР	1*	2,51	71535	23550	47985	203,8
	2	2,75	78375	23811	54564	229,2
	3	2,87	81795	23921	57874	241,9
	4	3,05	86925	23711	63214	266,6
СУОМІ	1	2,45	69825	23550	46275	196,5
	2	2,67	76095	23811	52284	219,6
	3	2,81	80085	23921	56164	234,8
	4	2,92	83220	23711	59509	251,0
ЕС ЕЛЕНІС	1	2,60	74100	23550	50550	214,6
	2	3,00	85500	23811	61689	259,1
	3	3,15	89775	23921	65854	275,3
	4	3,27	93195	23711	69484	293,0
АЛЬКАНТАРА	1	2,77	78945	23550	55395	235,2
	2	3,06	87210	23811	63399	266,3
	3	3,14	89490	23921	65569	274,1
	4	3,30	94050	23711	70339	296,7
НК КОНДІ	1	2,86	81510	23550	57960	246,1
	2	3,07	87495	23811	63684	267,5
	3	3,13	89205	23921	65284	272,9
	4	3,27	93195	23711	69484	293,0
СИ АМАЗОНІЯ	1	2,75	78375	23550	54825	232,8
	2	2,96	84360	23811	60549	254,3
	3	3,00	85500	23921	61579	257,4
	4	3,13	89205	23711	65494	276,2
НІР ₀₅ , т/га: для гібридів – 0,11–0,12; для застосування препаратів – 0,09–0,11; взаємодія факторів – 0,13–0,14						

Примітка: 1 – без внесення препаратів (контроль); 2 – Вимпел 2 (норма 0,5 л/га); 3 – Авангард Гроу Аміно (норма 1,5 л/га); 4 – Авангард Гроу Гумат (норма 1,0 л/га).

Водночас одержання валової енергії в насінні зростало від 59,24–69,15 ГДж/га на контролі до 64,56–79,79 ГДж/га у варіантах із застосуванням стимуляторів росту, що супроводжувалося зниженням енергоємності 1 т насіння з 7388–6329 МДж на контролі до 6240–5521 МДж у кращих варіантах. Найвищу енергетичну віддачу забезпечував препарат Авангард Гроу Гумат, за якого коефіцієнт енергетичної ефективності становив 3,88–4,38, тоді як на контролі він змінювався в межах 3,27–3,82. Максимальне значення коефіцієнта енергетичної ефективності 4,38 зафіксовано у гібриду АЛЬКАНТАРА, де енергоємність 1 т насіння знижувалася до 5521 МДж.

У ранньостиглій групі гібрид соняшнику БЕЛЬВЕДЕР на контролі мав коефіцієнт енергетичної ефективності 3,35 за енергоємності 7211 МДж/т, тоді як у варіанті з препаратом Авангард Гроу Гумат ці показ-

ники поліпшувалися до 4,05 і 5974 МДж/т, відповідно. У гібриду СУОМІ відповідно коефіцієнт енергетичної ефективності зростав з 3,27 до 3,88, а енергоємність знижувалася з 7388 до 6240 МДж/т. У середньоранній групі у гібриду ЕС ЕЛЕНІС коефіцієнт енергетичної ефективності підвищувався з 3,47 на контролі до 4,34 за використання Авангард Гроу Гумат, а енергоємність 1 т насіння знижувалася з 6962 до 5572 МДж/т. У гібриду АЛЬКАНТАРА ці зміни були ще виразнішими, саме коефіцієнт енергетичної ефективності зростав з 3,70 до 4,38, а енергоємність зменшувалася з 6534 до 5521 МДж/т.

Серед середньостиглих гібридів НК КОНДІ також вирізнявся високими біоенергетичними показниками, при цьому коефіцієнт енергетичної ефективності зростав з 3,82 до 4,34, а енергоємність 1 т насіння знижувалася з 6329 до 5572 МДж/т.

Таблиця 2

Біоенергетична ефективність використання стимуляторів росту при вирощуванні гібридів соняшнику різних груп стиглості (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид	Варіант досліджу	Врожайність, т/га	Витрати сукупної енергії, ГДж/га	Одержано валової енергії в насінні, ГДж/га	Енергоємність 1 т насіння, МДж	Коефіцієнт енергетичної ефективності
БЕЛЬВЕДЕР	1*	2,51	18,10	60,69	7211	3,35
	2	2,75	18,20	66,50	6618	3,65
	3	2,87	18,24	69,40	6355	3,80
	4	3,05	18,22	73,75	5974	4,05
СУОМІ	1	2,45	18,10	59,24	7388	3,27
	2	2,67	18,20	64,56	6816	3,55
	3	2,81	18,24	67,95	6491	3,73
	4	2,92	18,22	70,61	6240	3,88
ЕС ЕЛЕНІС	1	2,60	18,10	62,87	6962	3,47
	2	3,00	18,20	72,54	6067	3,99
	3	3,15	18,24	76,17	5790	4,18
	4	3,27	18,22	79,07	5572	4,34
АЛЬКАНТАРА	1	2,77	18,10	66,98	6534	3,70
	2	3,06	18,20	73,99	5948	4,07
	3	3,14	18,24	75,93	5809	4,16
	4	3,30	18,22	79,79	5521	4,38
НК КОНДІ	1	2,86	18,10	69,15	6329	3,82
	2	3,07	18,20	74,23	5928	4,08
	3	3,13	18,24	75,68	5827	4,15
	4	3,27	18,22	79,07	5572	4,34
СИ АМАЗОНІЯ	1	2,75	18,10	66,50	6582	3,67
	2	2,96	18,20	71,57	6149	3,93
	3	3,00	18,24	72,54	6080	3,98
	4	3,13	18,22	75,68	5821	4,15

Примітка: 1 – без внесення препаратів (контроль); 2 – Вимпел 2 (норма 0,5 л/га); 3 – Авангард Гроу Аміно (норма 1,5 л/га); 4 – Авангард Гроу Гумат (норма 1,0 л/га).

У гібриду СИ АМАЗОНІЯ відповідні показники змінювалися з 3,67 і 6582 МДж/т на контролі до 4,15 і 5821 МДж/т за застосування Авангард Гроу Гумат.

Найвищі значення коефіцієнта енергетичної ефективності були характерні для гібриду АЛЬКАНТАРА – 4,38, ЕС ЕЛЕНІС і НК КОНДІ – 4,34 у варіанті з Авангард Гроу Гумат. Мінімальна енергоємність 1 т насіння також формувалася в цих варіантах і становила 5521–5572 МДж/т, що було істотно нижче від значень на контрольному варіанті. Для ранньостиглих гібридів БЕЛЬВЕДЕР і СУОМІ застосування Авангард Гроу Гумат знижувало енергоємність продукції до 5974 і 6240 МДж/т та підвищувало коефіцієнт енергетичної ефективності до 4,05 і 3,88, відповідно.

Висновки

Встановлено важливу роль позакореневого застосування стимуляторів росту

як чинника підвищення продуктивності, економічної та біоенергетичної ефективності вирощування гібридів соняшнику різних груп стиглості в умовах Північного Степу України. На контрольних варіантах урожайність становила 2,45–2,86 т/га, умовно чистий прибуток – 46275–57960 грн/га, рівень рентабельності – 196,5–246,1 %, енергоємність 1 т насіння – 6329–7388 МДж/т, а коефіцієнт енергетичної ефективності – 3,27–3,82. Застосування стимуляторів росту забезпечувало стає покращення цих показників у всіх гібридів соняшнику, які вивчалися в польових експериментах.

Базовою ланкою підвищення ефективності технології було використання стимуляторів Вимпел 2 та Авангард Гроу Аміно, які за близьких витрат ресурсів забезпечували приріст урожайності, зниження енергоємності продукції та підвищення рентабельності виробництва. Завикористання Вимпел 2 уро-

жайність підвищувалася до 2,67–3,07 т/га, умовно чистий прибуток – 52284–63684 грн/га, рентабельність – 219,6–267,5%, коефіцієнт енергетичної ефективності – 3,55–4,08. При застосуванні Авангард Гроу Аміноціпоказники зростали ще більше, а саме урожайність – до 2,81–3,15 т/га, умовно чистий прибуток – 56164–65854 грн/га, рентабельність – 234,8–275,3 %, коефіцієнт енергетичної ефективності – 3,73–4,18, за одночасного зниження енергоємності 1 т насіння до 5790–6491 МДж/т.

Максимальний сукупний ефект отримано при використанні препарату Авангард Гроу Гумат. У цьому варіанті врожайність становила 2,92–3,30 т/га, умовно чистий прибуток – 59509–70339 грн/га, рівень рентабельності – 251,0–296,7 %, коефіцієнт енергетичної ефективності – 3,88–4,38. Мінімальна енергоємність 1 т насіння знижувалася до 5521–6240 МДж/т. Найвищі абсолютні показники отримано у гібридів АЛКАНТАРА, ЕС ЕЛЕНІС і НК КОНДІ, де коефіцієнт енергетичної ефективності досягав 4,38, 4,34 і 4,34, відповідно, а умовно чистий прибуток – 70339 грн/га, 69484 грн/га і 69484 грн/га, відповідно. Додаткові витрати на застосування препаратів були незначними порівняно з приро-

стом валової енергії врожаю та економічною віддачею.

Економічні показники повністю узгодилися з біоенергетичними. Найвищі умовно чистий прибуток і рентабельність зафіксовано саме у варіантах з застосуванням препарату Авангард Гроу Гумат, тоді як контрольний варіант в усіх групах стиглості соняшнику поступалися як за рівнем прибутковості, так і за енергетичною віддачею. Це підтверджує, що зростання врожайності під впливом стимуляторів росту супроводжувалося не збільшенням енергетичного навантаження на технологію, а підвищенням ефективності використання вкладених ресурсів.

Практично цінною рекомендацією для виробництва слід вважати застосування препарату Авангард Гроу Гумат, який забезпечував найкраще поєднання продуктивності, прибутковості та біоенергетичної ефективності. За обмежених ресурсів технологічно доцільною альтернативою може бути застосування Авангард Гроу Аміно, тоді як найбільш виразною реакцією на застосування стимуляторів росту характеризувалися гібриди соняшнику АЛКАНТАРА, ЕС ЕЛЕНІС та НК КОНДІ.

Список використаної літератури

- Гангур В. В., Космінський О. О. Біоенергетична оцінка ефективності різних рівнів мінерального живлення у технології вирощування соняшнику. *Науковий прогрес та інновації*. 2024. Vol. 27. № 1. Р. 13–18. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.01.02>
- Єременко О. А., Калитка В. В., Каленська С. М. Вплив регулятора росту на ріст, розвиток рослин і формування врожайності гібридів соняшнику (F1) в умовах південного Степу України. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2017. Vol. 13. № 2. Р. 141–149. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.13.2.2017.105395>
- Каленська С. М., Риженко А. С. Оцінювання впливу погодних умов за вирощування гібридів соняшнику (*Helianthus annuus* L.) у північній частині Лівобережного Лісостепу України. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2020. Vol. 16. № 2. Р. 162–172. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.2.2020.209229>
- Поляков О. І., Нікітенко О. В., Алієва О. Ю., Щербак А. Д. Економічні та біоенергетичні показники вирощування соняшнику за додаткового живлення. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2024. № 37. С. 102–115. <https://doi.org/10.36710/IOC-2024-37-10>
- Тоцький В. М., Гангур В. В., Оніпко В. В., Міщенко О. В., Космінський О. О., Поляков І. А., Мотрич Р. Ю. Вплив системи удобрення на біометричні, продуктивні та якісні показники гібридів соняшнику в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Науковий прогрес та інновації*. 2023. Vol. 26. № 3. Р. 52–57. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.10>
- Тоцький В. М., Гангур В. В., Поляков І. А. Урожайність та якість насіння гібридів соняшнику (*Helianthus annuus* L.) залежно від системи удобрення. *Науковий прогрес та інновації*. 2024. Vol. 27. № 3. Р. 5–11. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.03.01>
- Aksyonov I. V., Shevchenko S. M., Kolesnykova K. V., Yevtushenko H. O., Barboy V. B. Method of evaluation, selection, and creation of new initial material in sunflower breeding. *Agrology*. 2025. Vol. 8. № 2. Р. 73–77. <https://doi.org/10.32819/202510>
- Akuaku J., Melnyk A., Zherdetska S., Melnyk T., Surgan O., Makarchuk A. Yield and quality of confectionery sunflower seeds as affected by foliar fertilizers and plant growth regulators in

the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2020. Vol. 63. № 1. P. 155–165. https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2020/issue_1/Art21.pdf

Debaeke P., Casadebaig P., Flenet F., Langlade N. Sunflower crop and climate change: vulnerability, adaptation, and mitigation potential from case-studies in Europe. *OCL*. 2017. Vol. 24. № 1. Article D102. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016052>

Kalenska S., Ryzhenko A., Novytska N., Garbar L., Stolyarchuk T., Kalenskyi V., Shytiy O. Morphological features of plants and yield of sunflower hybrids cultivated in the northern part of the Forest-Steppe of Ukraine. *American Journal of Plant Sciences*. 2020. Vol. 11. P. 1331–1344. <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.118095>

Melnyk A., Akuaku J., Trotsenko V., Melnyk T., Makarchuk A. Productivity and quality of high-oleic sunflower seeds as influenced by foliar fertilizers and plant growth regulators in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *AgroLife Scientific Journal*. 2019. Vol. 8. № 1. P. 167–174. <https://agrolifejournal.usamv.ro/index.php/agrolife/article/view/432/428>

Onyshchenko O., Pokoptseva L., Kolesnikov M., Gerasko T. Photosynthetic activity of sunflower hybrids under growth regulators in the Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 26. № 6. P. 58–70. <https://doi.org/10.48077/scihor6.2023.58>

Palamarchuk V. D. The role of plant growth regulators in the formation of sunflower hybrids productivity. *Agriculture and Forestry*. 2023. № 4(31). P. 16–29. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-4-2>

Pichura V., Domaratskiy Y., Potravka L., Biloshkurenko O., Dobrovolskyi A. Application of the research on spatio-temporal differentiation of a vegetation index in evaluating sunflower hybrid plasticity and growth-regulators in the Steppe zone of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24. № 6. P. 144–165. <https://doi.org/10.12911/22998993/162782>

Tkalich Y., Tkalich I., Tsyliuryk O., Masliiov S. Reserves for increasing the yield of sunflower seeds in the Ukrainian steppe. *Agriculture and Forestry*. 2019. Vol. 65. № 3. P. 105–114. <https://doi.org/10.17707/AgricForest.65.3.09>

Tsyliuryk O. I., Horshchar V. I., Izhboldin O. O., Kotchenko M. V., Rumbakh M. Y., Hotvianska A. S., Ostapchuk Y. V., Chornobai V. H. The influence of biological products on the growth and development of sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) in the northern steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11. № 3. P. 106–116. https://doi.org/10.15421/2021_150

References

Hangur, V. V., & Kosminskyi, O. O. (2024.) Bioenerhetychna otsinka efektyvnosti riznykh rivniv mineralnogo zhyvlennia u tekhnolohii vyroshchuvannia soniashnyku [Bioenergetic assessment of the efficiency of different levels of mineral nutrition in sunflower cultivation technology]. *Naukovyi prohres ta innovatsii [Scientific Progress & Innovations]*, 27, 1, 13–18. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.01.02> [in Ukrainian].

Yeremenko, O. A., Kalytka, V. V., & Kalenska, S. M. (2017). Vplyv rehulatora rostu na rist, rozvytok roslyn i formuvannia vrozhaivosti hibrydiv soniashnyku (F1) v umovakh pivdennoho Stepu Ukrainy [Influence of growth regulator on plant growth, development and yield formation of sunflower hybrids (F1) under the conditions of Southern Steppe zone of Ukraine], *Sortovyvchennia ta okhorona prav na sorty roslyn [Plant Varieties Studying and Protection]*. Vol. 13, 2, 141–149. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.13.2.2017.105395> [in Ukrainian].

Kalenska, S. M., & Ryzhenko, A. S. (2020). Otsiniuvannia vplyvu pohodnykh umov za vyroshchuvannia hibrydiv soniashnyku (*Helianthus annuus* L.) u pivnichnii chastyni Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Evaluation of weather conditions for growing sunflower (*Helianthus annuus* L.) in the northern part of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Sortovyvchennia ta okhorona prav na sorty roslyn [Plant Varieties Studying and Protection]*, 16, 2, 162–172. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.2.2020.209229> [in Ukrainian].

Polyakov, O. I., Nikitenko, O. V., Aliieva, O. Yu., & Shcherbak, A. D. (2024). Ekonomichni ta bioenerhetychni pokaznyky vyroshchuvannia soniashnyku za dodatkovoho zhyvlennia [Economic and bioenergy indicators of sunflower growing with supplementary nutrition]. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten Instytutu oliinykh kultur NAAS [Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS]*, 37, 102–115. <https://doi.org/10.36710/IOC-2024-37-10> [in Ukrainian].

Totskyi, V. M., Hanhur, V. V., & Poliakov, I. A. (2024). Urozhaivist ta yakist nasinnia hibrydiv soniashnyku (*Helianthus annuus* L.) zalezho vid systemy udobrennia [Yield and quality of seed of sunflower hybrids (*Helianthus annuus* L.) depending on the fertilizer system]. *Naukovyi*

prohres ta innovatsii [Scientific Progress & Innovations], 27, 3, 5–11. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.03.01> [in Ukrainian].

Totskyi, V. M., Hanhur, V. V., Onipko, V. V., Mishchenko, O. V., Kosminskyi, O. O., Poliakov, I. A., & Motrych, R. Yu. Vplyv systemy udobrennia na biometrychni, produktyvni ta yakisni pokaznyky hibrydiv soniashnyku v umovakh Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Influence of the fertilizer system on the biometric, productive and quality indicators of sunflower hybrids in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Naukovyi prohres ta innovatsii [Scientific Progress & Innovations]*. 2023, 26, 3, 52–57. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.10> [in Ukrainian].

Aksyonov, I. V., Shevchenko, S. M., Kolesnykova, K. V., Yevtushenko, H. O., & Barboy, V. B. (2025). Method of evaluation, selection, and creation of new initial material in sunflower breeding. *Agrology*, 8, 2, 73–77. <https://doi.org/10.32819/202510> [in English].

Akuaku, J., Melnyk, A., Zherdetska, S., Melnyk, T., Surgan, O., & Makarchuk, A. (2020). Yield and quality of confectionery sunflower seeds as affected by foliar fertilizers and plant growth regulators in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 63, 1, 155–165. https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2020/issue_1/Art21.pdf [in English].

Debaeke, P., Casadebaig, P., Flenet, F., & Langlade, N. (2017). Sunflower crop and climate change: vulnerability, adaptation, and mitigation potential from case-studies in Europe. *OCL*, 24, 1, D102. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016052> [in English].

Kalenska, S., Ryzhenko, A., Novytska, N., Garbar, L., Stolyarchuk, T., Kalenskyi, V., & Shytiy, O. (2020). Morphological features of plants and yield of sunflower hybrids cultivated in the northern part of the Forest-Steppe of Ukraine. *American Journal of Plant Sciences*, 11, 1331–1344. <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.118095> [in English].

Melnyk, A., Akuaku, J., Trotsenko, V., Melnyk, T., & Makarchuk, A. (2019). Productivity and quality of high-oleic sunflower seeds as influenced by foliar fertilizers and plant growth regulators in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *AgroLife Scientific Journal*, 8, 1, 167–174. <https://agrolifejournal.usamv.ro/index.php/agrolife/article/view/432/428> [in English].

Onyshchenko, O., Pokoptseva, L., Kolesnikov, M., & Gerasko, T. (2023). Photosynthetic activity of sunflower hybrids under growth regulators in the Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons*, 26, 6, 58–70. <https://doi.org/10.48077/scihor6.2023.58> [in English].

Palamarchuk, V. D. (2023). The role of plant growth regulators in the formation of sunflower hybrids productivity. *Agriculture and Forestry*, 4(31), 16–29. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-4-2> [in English].

Pichura, V., Domaratskiy, Y., Potravka, L., Biloshkurenko, O., & Dobrovolskyi, A. (2023). Application of the research on spatio-temporal differentiation of a vegetation index in evaluating sunflower hybrid plasticity and growth-regulators in the Steppe zone of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, 24, 6, 44–165. <https://doi.org/10.12911/22998993/162782> [in English].

Tkalich, Y., Tkalich, I., Tsyliuryk, O., & Masliiov, S. (2019). Reserves for increasing the yield of sunflower seeds in the Ukrainian steppe. *Agriculture and Forestry*, 65, 3, 105–114. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.65.3.09> [in English].

Tsyliuryk, O. I., Horshchar, V. I., Izholdin, O. O., Kotchenko, M. V., Rumbakh, M. Y., Hotvianska, A. S., Ostapchuk, Y. V., & Chornobai, V. H. (2021). The influence of biological products on the growth and development of sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) in the northern steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11, 3, 106–116. https://doi.org/10.15421/2021_150 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 09.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 16
Український журнал природничих наук
№ 16

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 633.361:631.584.2:581.14
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.16>

ВПЛИВ ПОКРИВНИХ КУЛЬТУР НА ФОРМУВАННЯ БІОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕСПАРЦЕТУ ВИКОЛИСТОГО ПЕРШОГО РОКУ ЖИТТЯ

О. О. Вінюков¹, С. Є. Ліхушин²

У статті наведено результати вивчення впливу різних покривних культур на біометричні показники рослин еспарцету сорту Резонанс. В якості покривної культури були використані ячмінь ярий сорту Аверс, льон олійний сорту Орфей, соняшник гібриду Білоба КЛП. Для інокуляції насіння застосовували біопрепарати Ризобіофіт і Ризогумін, які спрямовані на підвищення екологічності виробництва та ефективне використання біологічного азоту. Біометричні показники рослин еспарцету (висота, виживання сходів, об'єм кореневої системи, кількість пагонів) на момент припинення вегетації найбільш високими були за безпокровного способу вирощування та при використанні інокулянтів, особливо Ризобіофіту. Серед покривних культур льон олійний забезпечив найменше пригнічення на ріст і розвиток еспарцету, формуючи біометричні показники близькі до безпокровного варіанту. Найбільше пригнічення рослин еспарцету спостерігалось при використанні ячменю ярого. У фазі бутонізації-цвітіння найвищі рослини формувалися за безпокровного способу сівби та при використанні льону олійного, тоді як ячмінь ярий найбільше пригнічував ріст рослин. Інокуляція бобиків еспарцету Ризогуміном і Ризобіофітом сприяла інтенсифікації ростових процесів, що проявлялося у збільшенні висоти рослин, площі листової поверхні та стабілізації показників облистяності. Найкращі значення площі листя і чистої продуктивності фотосинтезу були отримані за сумісної сівби з льоном олійним. Найбільш ефективним способом вирощування еспарцету в умовах дослідження виявилася сумісна сівба з льоном олійним. Загалом поєднання використання льону олійного як покривної культури та передпосівної інокуляції бобиків еспарцету мікробіологічним препаратом Ризобіофіт є найбільш доцільним агротехнічним прийомом для підвищення зимостійкості та формування біометричних показників еспарцету виколистого в умовах Північного Степу України.

Ключові слова: еспарцет, покривна культура, біопрепарат, інокуляція насіння, біометричні показники.

¹ доктор сільськогосподарських наук, професор,
в.о. директора
(Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція
Національної академії аграрних наук України, м. Покровськ)
e-mail: alex.agronomist@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2957-5487

² молодший науковий співробітник
(Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція
Національної академії аграрних наук України, м. Покровськ)
e-mail: s.likhushyn@ukr.net
ORCID: 0009-0009-0462-8990

THE IMPACT OF COVER CROPS ON THE DEVELOPMENT OF BIOMETRIC INDICATORS IN FIRST-YEAR SAINFOIN

O. O. Vinyukov, S. E. Likhushin

The article presents the results of the study of the influence of various cover crops on the biometric indicators of sainfoin plants of the Resonance variety. As a cover crop, spring barley of the Avers variety, oilseed flax of the Orpheus variety, sunflower of the Biloba KLP hybrid were used. For seed inoculation, biopreparations Rhizobophyt and Rhizogumin were used, aimed at increasing the environmental friendliness of production and the effective use of biological nitrogen. Biometric indicators of asparagus plants (height, seedling survival, volume of the root system, number of shoots) at the time of termination of vegetation are the highest with the bare cultivation method and with the use of inoculants, especially Rhizobophyte. Among the cover crops, oilseed flax provided the least suppression of the growth and development of safflower, forming biometric indicators close to the non-cover version. The greatest suppression of safflower plants was observed when spring barley was used. In the phase of budding - flowering, the tallest plants were formed by the bare seeding method and when using oilseed flax, while the spring yoke most of all suppressed the growth of plants. Inoculation of asparagus beans with Rhizohumin and Rhizobophyte contributed to the intensification of growth processes, which was manifested in an increase in plant height, leaf surface area, and stabilization of foliage indicators. The best values of leaf area and net photosynthetic productivity were obtained in joint sowing with oil flax. The most effective way of growing asparagus under the conditions of the experiment turned out to be joint sowing with oil flax. In general, the combination of the use of oilseed flax as a cover crop and the pre-sowing inoculation of asparagus beans with the microbiological preparation Rhizobofit is the most expedient agrotechnical method for increasing winter hardiness and the formation of biometric indicators of zigzag asparagus in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine.

Key words: sainfoin, cover crop, biological product, seed inoculation, biometric indicators.

Вступ

Еспарцет є однією з найбільш посухостійких та невибагливих бобових культур (Демидась та ін., 2017; Антипова та ін., 2018). Агротехнологічне значення культури еспарцету полягає не лише у формуванні високої врожайності зеленої маси та сіна, а й можливість його вирощування на малопродуктивних ґрунтах без суттєвого зниження його продуктивності (Голобородько і Ковтун, 2003; Маткевич та ін., 2004; Петриченко та ін., 2008; Аврамчук, 2012; Sakhraoui et al., 2023; Xiang et al., 2025).

Введення еспарцету у сівозмину може стати ефективним рішенням, оскільки ця культура має здатність накопичувати макроелементи, особливо азот, та органічну речовину в ґрунті, що позитивно впливає на урожайність наступних культур (Bhattarai et al., 2016; Petkova et al., 2024).

Внаслідок занепаду тваринництва в Україні значно скоротилися площі посівів кормових культур, включаючи еспарцет (Квітко та ін., 2013). Проте останніми роками ринок демонструє значний попит на насіння еспарцету, однак товаровиробники неохоче включають цю культуру до своїх сівозмін через її дворічний вегетаційний цикл (Davazdahemami et al., 2020; Лихошерст, 2021). виправити цю ситуацію

можна за рахунок використання покривних культур, які дозволяють отримати прибуток з зайнятої еспарцетом площі у перший рік його вегетації.

Це підкреслює потребу у розробці оптимальних технологічних прийомів вирощування, що дозволяють підвищити економічний ефект сівозміни (Примаць та ін., 2003; Кургак та ін., 2022; Каюда і Шепель, 2024). Серед таких заходів – підбір економічно та біологічно доцільних покривних культур, визначення найбільш ефективного інкулянту для еспарцету залежно від покривної культури, а також створення системи захисту посівів покривної культури, яка не пригнічує фізіологічні процеси еспарцету (Malisch et al., 2015; Sakhraoui et al., 2024; Тищенко та ін., 2025; Xiang et al., 2025).

Застосування цих підходів дозволяє не лише зменшити витрати на мінеральні добрива, а й підвищити стійкість агроценозу до негативних факторів середовища, забезпечити стабільну та високу врожайність культур у сівозміні. Крім того, впровадження еспарцету створює додаткові економічні переваги для господарств, підвищуючи ефективність виробництва кормів та забезпечуючи природне збагачення ґрунту поживними речовинами (Kempf et al., 2015; Luo et al., 2025). Тому нами було

закладено дослід, де вивчався підбір різних покривних культур для еспарцету.

Метою роботи було вивчення впливу різних покривних культур на біометричні показники рослин еспарцету.

Матеріал і методи

Дослідження проводилися на дослідному полі Донецької державної сільськогосподарської дослідної станції Національної академії аграрних наук України. Територія землекористування характеризується континентальним кліматом з жарким сухим літом, малосніжною з відлигами зимою. За багаторічними даними середньорічна температура повітря складає 7,6-8,0 °С.

Веgetаційний період триває 208 діб, а тривалість періоду з температурою вище +10 °С складає 160-170 діб. Сума позитивних температур за вегетацію – 3010 °С. Безморозний період триває в середньому 150-160 діб, останні весняні заморозки спостерігаються 18-24 квітня, а перші осінні – 11-12 жовтня.

Середньорічна кількість опадів складає 542 мм, максимум опадів припадає на червень (середнебагаторічне 56 мм), які випадають у вигляді злив, мінімум – на березень (середнебагаторічне 35 мм). Гідротермічний коефіцієнт 0,9. Запаси вологи в ґрунті формуються під впливом осінньо-весняних опадів.

Відносна вологість повітря в літні місяці 58-63 %, порівняно низька, що негативно позначається на вегетації рослин. Кількість діб з відносною вологістю повітря 30 % і нижче – 60 за рік.

Ґрунтовий покрив місця проведення дослідів представлений чорноземом звичайним малоґумусним, важко суглинковим. Вміст гумусу в орному шарі становить 4,5 %.

Дослід двофакторний (фактор А – покривна культура, В – препарат для інокуляції бобиків). Повторність у дослідях – триразова. Розміщення ділянок – систематичне. Площа облікової ділянки – 80 м². Попередник – пшениця озима.

Об'єкт досліджень – еспарцет виколистий сорту Резонанс (ПУ № 170305 від 03.10.2017 р.). Оригіна́тор – Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція НААН України. Сорт має високу продуктивність (зеленої маси не менше 550 ц/га за рік, сухої речовини – 108 ц/га, насіння – 11 ц/га, вміст протеїну в сухій речовині 18,8 %), облистяність 54%, стійкість до вилягання 9 балів, посухостійкість 8 балів, зимостійкість 8 балів, високу інтенсивність відрощування

стання навесні та після укосів, стійкість до хвороб. В ґрунтово-кліматичних умовах південно-східного регіону України при вирощуванні на богарі дає два укуси зеленої маси. Характеризується технологічністю механізованого збору насіння внаслідок однакової висоти розташування суцвіть та дружного дозрівання насіння. Використання сорту дасть змогу додатково одержувати 6,2 т зеленої маси з одного гектару за рік. Рекомендовані зони використання – Степ, Лісостеп.

В якості покривної культури були використані ячмінь ярий сорту Аверс (норма висіву 3,5 млн. шт./га), льон олійний сорту Орфей (норма висіву 4,0 млн. шт./га), соняшник гібриду Білоба (норма висіву 50 тис. шт./га).

Ячмінь ярий Аверс – середньостиглий сорт селекції Донецької державної сільськогосподарської дослідної станції НААН, вегетаційний період складає 75-80 днів. Сорт пластичний, характеризується високою кущистістю, вирівняністю стеблостою. Урожайність в державному сортовипробуванні складала 5,1 т/га, перевищив стандарт на 10-15 %. Вирівняність зерна 97 %, вміст білка 12,0-13,0 %. Придатний для умов нестійкого зволоження.

Льон олійний Орфей – це високопродуктивний середньостиглий сорт інтенсивного типу (87-89 днів), що характеризується високим вмістом олії (47-48%) та врожайністю 1,8-2,0 т/га. Сорт посухостійкий, стійкий до вилягання та осипання, має коричневе насіння, і підходить для вирощування в усіх зонах України.

Соняшник КВС Білоба КЛП – це середньоранній інтенсивний лінолевий гібрид, що вирізняється високим потенціалом врожайності (до 53-55% олійності). Підходить для всіх зон України, має стійкість до вовчка (раси А-Е), посухи та комплексу хвороб (фомоз, іржа, гнилі). Вирізняється швидкою вологовіддачею.

Для інокуляції насіння застосовували біопрепарати Ризобофит (1 л/т) і Ризогумін (2 л/т), які спрямовані на підвищення екологічності виробництва та ефективне використання біологічного азоту. Ризобофит – мікробний препарат, яким здійснюється бактеризація насіння бобових культур і бобових трав з метою збільшення врожайності. Ризогумін – спеціалізований біопрепарат, який використовується для передпосівної обробки насіння, активізує формування азотфіксуючого симбіозу, покращує живлення рослин.

Еспарцет (норма висіву 4,0 млн. шт./га) сіяли 2 квітня одночасно з сівбою ячменю ярого. Льон олійний та соняшник – 25 квітня 2024 року.

Основний метод досліджень – польовий, який доповнювався аналітичними дослідженнями, вимірами, підрахунками і спостереженнями відповідно до загальноприйнятих методик та методичних рекомендацій (Методика проведення дослідів по кормовиробництву / під ред. А. О. Бабича. Вінниця, 1998. 79 с.).

Статистична оцінка виконана із застосуванням ППП «ОСГЕ» (Літун та ін., 1992).

Результати та їх обговорення

Рослини еспарцету протягом першого року життя формували наступні біометричні показники залежно від покривної культури та інокулянтів (табл. 1).

За безпокровного способу вирощування на варіанті без інокуляції бобиків висота рослин еспарцету становила 24,6 см. При використанні мікробіологічних препаратів Ризогумін та Ризобофіт цей показник дорівнював 25,3 та 25,8 см, відповідно.

Безпокровний спосіб вирощування еспарцету сприяв найвищому відсотку виживання сходів у досліді. На контрольному варіанті цей показник дорівнював 87,5 %. При використанні препарату Ризогумін виживання сходів підвищувалось на 0,8 %, а Ризобофіт сприяв підвищенню цього показнику на 1,5 %.

Інокулянти також мали вплив на формування рослинами кореневої системи. Так,

на контрольному варіанті об'єм кореневої системи еспарцету дорівнював 8,8 см³, а за рахунок використання Ризогуміну об'єм кореневої системи збільшувався на 0,4 см³. В той же час Ризобофіт сприяв зростанню цього показнику порівняно з контролем на 0,7 см³.

Не менш важливий біометричний показник рослин еспарцету першого року життя це кількість пагонів, яку рослина утворила протягом вегетації. Безпокровний спосіб сприяв формуванню на рослині 25,8 шт. пагонів на одній рослині. Інокулянти Ризогумін та Ризобофіт стимулювали пагоноутворення, забезпечивши збільшення цього показнику порівняно з контролем на 0,8 шт. і 3,1 шт., відповідно.

Ячмінь ярий, як покривна культура, сприяв пригніченню рослин еспарцету, що проявлялося у зменшенні біометричних показників порівняно з варіантами при безпокровному способі вирощування. Так, рослини були нижчими на: контрольний варіант – 0,8 см; Ризогумін – 1,1 см; Ризобофіт – 1,3 см.

Знижувався й відсоток виживання сходів, який склав за контрольного варіанту 85,2 %, що на 2,3 % нижче, ніж на контрольному варіанті при безпокровному способі вирощування. Інокулянти підвищували відсоток виживання сходів порівняно з контролем. Ризогумін сприяв підвищенню цього показнику на 0,6 %, а Ризобофіт на 1,3 %.

Конкуренція рослин ячменю ярого та еспарцету у сумісному посіві спричинила

Таблиця 1

Біометричні показники рослин еспарцету першого року життя на момент припинення вегетації залежно від варіантів дослідів, 2024 р.

Покривна культура (А)	Інокуляція бобиків (В)	Висота рослин, см	Вживання сходів, %	Об'єм кореневої системи, см ³	Кількість пагонів на 1 рослині, шт.
Без покривний спосіб сіви (контроль)	Контроль	24,6	87,5	8,8	25,8
	Ризогумін	25,3	88,3	9,2	26,6
	Ризобофіт	25,8	89,0	9,5	28,9
Ячмінь ярий	Контроль	23,8	85,2	8,2	24,5
	Ризогумін	24,2	85,8	8,5	24,9
	Ризобофіт	24,5	86,5	8,7	25,3
Льон олійний	Контроль	24,5	87,0	8,7	25,9
	Ризогумін	25,4	88,1	9,2	26,6
	Ризобофіт	25,9	88,9	9,4	29,0
Соняшник	Контроль	24,8	85,0	8,4	25,7
	Ризогумін	25,4	85,5	8,7	26,1
	Ризобофіт	25,9	86,1	8,9	26,5
НІР ₀₅ :	А	0,7	1,1	0,6	1,6
	В	0,2	0,5	0,3	1,1
	АВ	0,7	0,9	0,5	1,6

зниження об'єму кореневої системи у порівнянні з чистими посівами еспарцету. Так, рослини еспарцету контрольного варіанту з покривною культурою сформували кореневу систему, яка за об'ємом була меншою, ніж у рослин також варіанту безпокровного способу на 0,6 см³. За рахунок інтенсифікації ростових процесів еспарцету, завдяки додатковій стимуляції рослин інокулянтами Ризогумін та Ризобофит, було відмічено збільшення об'єму кореневої системи порівняно з контролем на 0,3 та 0,5 см³.

Кількість пагонів еспарцету при використанні ячменю ярого в якості покривної культури була найнижчою у досліді. На контрольному варіанті цей показник дорівнював 24,5 шт. Ризогумін сприяв підвищенню кількості пагонів на рослині на 0,4 шт., а Ризобофит – на 0,8 шт.

Льон олійний в якості покривної культури сприяв формуванню рослинами еспарцету біометричних показників, які дорівнювали рослинами безпокровного способу. Висота рослин за варіантами становила: контроль – 24,5 см; Ризогумін – 25,4 см; Ризобофит – 25,9 см. Вживання сходів: контроль – 87,0%; Ризогумін – 88,1 %; Ризобофит – 88,9 %. Об'єм кореневої системи: контроль – 8,7 см³; Ризогумін – 9,2 см³; Ризобофит – 9,4 см³. Кількість пагонів на рослині: контроль – 25,9 шт., Ризогумін – 26,1 шт., Ризобофит – 26,5 шт.

При використанні в якості покривної культури соняшнику були отримані наступні біометричні показники рослин еспарцету. За висотою рослини еспарцету перевищували безпокровні на: контроль – 0,2 см; Ризогумін – 0,1 см, Ризобофит – 0,1 см. Скоріш за все це пов'язано з більшим затіненням рослин еспарцету рослинами соняшнику, ніж при використанні інших покривних культур. Вживання сходів при цьому було найнижчим у досліді та дорівнювало за варіантами: контроль – 85,0 %; Ризогумін – 85,5 %; Ризобофит – 86,1 %.

Щодо об'єму кореневої системи, то на варіантах з використанням соняшнику цей показник був нижчим, ніж при використанні льону чи безпокровного способу, проте рослини еспарцету формували об'єм кореневої системи, який дещо переважав рослини, у яких покривною культурою був ячмінь ярий. Незалежно від варіанту використання інокулянтів об'єм кореневої системи рослин еспарцету, у яких покривною культурою був соняшник, був на 0,2 см³ вищим ніж у рослин еспарцету, де покрив-

ною культурою був ячмінь ярий. Це ми пояснюємо тим, що рослини соняшнику, на відміну від рослин ячменю ярого, формують свою кореневу систему на різній глибині з рослинами еспарцету.

Щодо кількості пагонів на одній рослині, то при використанні соняшнику в якості покривної культури рослини формували кількість пагонів, яка поступалася рослинам з безпокровного вирощування чи варіантів, де покривною культурою був льон олійний. Проте варіанти при покривній культурі соняшник переважали за цим показником варіанти при покривній культурі ячмінь ярий в середньому на 1,2 шт.

Можна зробити висновок, що покривні культури впливають на ріст та розвиток рослин еспарцету з різною інтенсивністю. Найменший вплив забезпечують рослини льону олійного, а найбільший – рослини ячменю ярого.

Метеорологічні умови зимового періоду 2024-2025 рр. були не зовсім сприятливими для доброї перезимівлі рослин еспарцету. Постійні відлиги протягом зими та практично відсутнє вологонакопичення у ґрунті негативно вплинули на рослини еспарцету на момент відновлення вегетації (табл. 2).

Дослідженнями було встановлено, що використання покривних культур у перший рік життя еспарцету мало свій вплив і на процеси перезимівлі рослин. Так, на контрольних варіантах найвища зимостійкість була зафіксована при без покривному способі сівби (82,2 %) та за використання в якості покривної культури льону олійного (83,0 %). При сумісному вирощуванні з ячменем ярим та соняшником рослини еспарцету були більш ослабленими, що призвело до зменшення зимостійкості при покривній культурі ячменю ярого на 2,1 % (порівняно з без покривним способом) та 2,9 % (порівняно з льоном олійним). При використанні соняшнику в якості покривної культури зимостійкість рослин еспарцету була нижчою на 1,5 % порівняно з без покривним способом та на 3,3 %, порівняно з льоном олійним.

Передпосівна інокуляція бобиків еспарцету мікробіологічним препаратом Ризогумін сприяла посиленню стійкості рослин еспарцету до впливу зимових метеоумов. Так, при без покривному способі сівби зимостійкість рослин еспарцету зростала на 3,5 % порівняно з контрольним варіантом. Після покривної культури ячменю ярого за використання цього інокулянта зимостій-

Таблиця 2

Біометричні показники рослин еспарцету другого року життя
на момент відновлення вегетації, 2025 р.

Покривна культура	Інокуляція бобиків	Кількість рослин, шт./м ²		Зимостійкість, %
		Перед припинення вегетації	Після відновлення вегетації	
Безпокровний спосіб сівби (контроль)	Контроль	350,0	287,7	82,2
	Ризогумін	353,2	302,7	85,7
	Ризобофіт	356,0	305,4	85,8
Ячмінь ярий	Контроль	426,0	341,2	80,1
	Ризогумін	429,0	353,9	82,5
	Ризобофіт	432,5	357,7	82,7
Льон олійний	Контроль	435,0	361,1	83,0
	Ризогумін	440,5	379,3	86,1
	Ризобофіт	444,5	383,6	86,3
Соняшник	Контроль	425,0	343,0	80,7
	Ризогумін	427,5	353,1	82,6
	Ризобофіт	430,5	357,3	83,0
НІР ₀₅ :	А	25,0	18,5	2,1
	В	2,4	1,7	0,4
	AB	22,3	15,9	1,7

кість рослин еспарцету підвищувалась на 2,4 % порівняно з контролем. Льон олійний мав найменший вплив на рослини еспарцету порівняно з іншими покривними культурами, тому за використання Ризогуміну зимостійкість рослин еспарцету склала 86,1 %, що на 3,1 % вище за контрольний варіант. За покривної культури соняшник інокуляція бобиків еспарцету Ризогуміном сприяла підвищенню зимостійкості рослин на 1,9 %.

Серед інокулянтів, що вивчалися, найбільший вплив на показник зимостійкості рослин еспарцету мав препарат Ризобофіт. За рахунок використання цього препарату було отримано найвищі показники зимостійкості незалежно від покривної культури. Так, при без покривному способі вирощування зимостійкість становила 85,8 %; при покривній культурі ячменю ярого – 82,7 %; при покривній культурі льону олійного – 86,3 %; при покривній культурі соняшнику – 83,0 %.

Однією з найбільш важливих фаз розвитку еспарцету є фаза бутонізації-цвітіння, під час якої формується насіннева продуктивність та продуктивність зеленої маси рослин.

Рослини еспарцету сорту Резонанс в цій фазі, залежно від способу вирощування, формували різну висоту (табл. 3). Найвищими рослини за контрольних варіантів були при безпокровному способі сівби та при використанні в якості покривної

культури льону олійного (73,2 см, та 74,3 см, відповідно). Соняшник сприяв зниженню висоти рослин на 1,6 см порівняно з льоном олійним. А найнижчими рослини еспарцету були при використанні покривної культури ячменю ярого – 71,9 см.

Інокуляція бобиків еспарцету мікробіологічними препаратами сприяла інтенсифікації фізіологічних процесів рослин еспарцету, що в свою чергу вплинуло на формування його габітусу. Так, висота рослин при використанні Ризогуміну в середньому підвищувалась на 0,45 см порівняно з контролем. Найвищими рослини були при використанні в якості покривної культури льону олійного – 75,0 см. При інокуляції бобиків еспарцету препаратом Ризобофіт рослини були вищими за контрольні варіанти в середньому на 0,65 см.

На показник облистяності рослин еспарцету більший вплив мав спосіб сівби, ніж передпосівна інокуляція. Так, на варіантах з безпокровним способом сівби та при використанні покривних культур ячменю ярого та соняшнику облистяність рослин склала 57,7 %. Льон олійний сприяв підвищенню цього показника на 0,8 % порівняно з іншими способами сівби.

Площа листя у період цвітіння залежала від кількості рослин на одиниці площі. Через те, що найменша кількість рослин була на варіант з безпокровним способом сівби, то й цей показник був відповідно найменшим. Так, на контрольному варіанті він дорів-

Таблиця 3

Біометричні показники рослин еспарцету другого року життя у фазі цвітіння, 2025 р.

Покривна культура	Інокуляція бобиків	Висота рослин, см	Облистяність, %	Площа листя у період цвітіння, тис. м ² /га	Чиста продуктивність фотосинтезу у період бутонізація-цвітіння, г/м ² добу
Безпокровний спосіб сівби (контроль)	Контроль	73,2	57,6	13,2	3,73
	Ризогумін	73,4	57,8	13,5	3,73
	Ризобофіт	73,8	57,8	13,7	3,73
Ячмінь ярий	Контроль	71,9	57,6	14,5	3,73
	Ризогумін	72,5	57,6	14,6	3,73
	Ризобофіт	72,5	57,7	14,6	3,73
Льон олійний	Контроль	74,3	58,3	14,8	3,77
	Ризогумін	75,0	58,4	14,8	3,77
	Ризобофіт	75,3	58,6	14,9	3,78
Соняшник	Контроль	72,7	57,7	14,5	3,73
	Ризогумін	73,0	57,7	14,5	3,73
	Ризобофіт	73,1	57,7	14,7	3,74
НІР ₀₅ :	А	0,4	0,5	0,4	0,03
	В	0,2	0,3	0,4	0,01
	АВ	0,2	0,4	0,3	0,03

нював 13,2 тис. м²/га, а при використанні мікробіологічних препаратів Ризогуміну та Ризобофіту він підвищувався на 0,3 та 0,5 тис. м²/га, відповідно.

Покривні культури по-різному впливали на показник площі листя. Найменшою площа листя була у рослин еспарцету, які росли після покривних культур ячменю ярого та соняшнику – 14,5 тис. м²/га. Льон олійний сприяв меншому пригніченню рослин еспарцету, що в свою чергу забезпечило зростання показнику площі листя до 14,8 %, а це на 0,3 % вище за інші покривні культури.

Пік активності фотосинтетичної діяльності листового апарату рослин еспарцету співпадає з фазою бутонізація-цвітіння. Проведенні заміри продуктивності фотосинтезу демонструють, що використання безпокровного способу сівби та сівба з ячменем ярим і соняшником сприяли формуванню габітусу рослин еспарцету, який продукував 3,73 г/м² на добу сухої речовини. При використанні сумісної сівби еспарцету з льоном олійним габітус рослин еспарцету другого року життя у фазі бутонізація-цвітіння сприяв накопиченню 3,77 г/м² на добу сухої речовини, що на 0,04 г/м² більше ніж за інших варіантів.

Висновки

1. Біометричні показники рослин еспарцету (висота, виживання сходів, об'єм кореневої системи, кількість пагонів) на момент припинення вегетації найбільш високими були за безпокровного способу вирощування

та при використанні інокулянтів, особливо Ризобофіту. Серед покривних культур льон олійний забезпечував найменший пригнічуючий вплив на ріст і розвиток еспарцету, формуючи біометричні показники, близькі до безпокровного варіанту. Найбільше пригнічення рослин еспарцету спостерігалось при використанні ячменю ярого.

2. Встановлено, що у фазі бутонізація-цвітіння біометричні показники рослин еспарцету істотно залежали від покривної культури. Найвищі рослини формувалися за безпокровного способу сівби та при використанні льону олійного, тоді як ячмінь ярий найбільше пригнічував ріст рослин.

3. Інокуляція бобиків еспарцету Ризогуміном і Ризобофітом сприяла інтенсифікації ростових процесів, що проявлялося у збільшенні висоти рослин, площі листової поверхні та стабілізації показників облистяності. Найкращі значення площі листя і чистої продуктивності фотосинтезу були отримані за сумісної сівби з льоном олійним.

4. Визначено, що найбільш ефективним способом вирощування еспарцету в умовах дослідження виявилася сумісна сівба з льоном олійним. Загалом поєднання використання льону олійного як покривної культури та передпосівної інокуляції бобиків еспарцету мікробіологічним препаратом Ризобофіт є найбільш доцільним агротехнічним прийомом для підвищення зимостійкості та формування біометричних показників еспарцету виколистого в умовах Північного Степу України.

Список використаної літератури

- Аврамчук Б.І. Урожайність еспарцету посівного залежно від елементів технології в Правобережному Лісостепу. *Сучасне овочівництво: освіта, наука та інновації, присвяченої 80-річчю від дня народження видатного вченого-овочівника Барабаша О. Ю.*: матер. наук.-практ. конф., 13–14 грудня 2012 р. Київ, 2012. С. 45–46. [Електронний ресурс]. URL: <https://nubip.edu.ua/node/6803> (дата звернення 10.02.2026).
- Антипова Л.К., Цуркан Н.В., Адамович О.М., Пойша Л.А. Багаторічні трави – важлива складова екологічного землеробства і кормовиробництва. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2018. Вип. 4(100). С. 35–41. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2018-4\(100\)-5](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2018-4(100)-5).
- Голобородько С.П., Ковтун В.А. Проблеми кормовиробництва та використання кормових ресурсів у південному регіоні України. *Таврійський науковий вісник*. 2003. Вип. 27. С. 63–71.
- Демидась Г.І., Лихошерст Е.С., Свистунова І.В., Еспарцет - перспективна культура в кормовиробництві. *Науковий вісник НУБіП України*. 2017. Вип. 269. С. 17–23. [Електронний ресурс]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnuagr_2017_269_4 (дата звернення 10.02.2026).
- Каюда А., Шепель А. Покривні культури у no-till технології вирощування пшениці озимої. *Сучасні вектори розвитку аграрної науки: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*, 17–18 вересня 2024 р. Херсон: ХДАЕУ, 2024. 920 с. С.174–178. [Електронний ресурс]. URL: <http://hdl.handle.net/123456789/10095> (дата звернення 10.02.2026).
- Квітко Г.П., Поліщук В.А., Мазур В.А., Протопіш І.Г., Демидась Г.І. Багаторічні трави як фактор стабільного розвитку землеробства України. *Землеробство*. 2013. Вип. 85. С. 63–71. [Електронний ресурс]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2013_85_9 (дата звернення 10.02.2026).
- Кургак В.Г., Дегодюк Є.Г., Гавриш Я.В. Кормова продуктивність люцерно-злакових агроценозів з різними злаковими компонентами. *Вісник аграрної науки*. 2022. Т. 100. № 3. С. 28–36. <https://doi.org/10.54651/agri.2022.01.06>.
- Літун П. П., Белкін О. О., Білянський О. І. Пакет прикладних програм ППП «ОСГЭ». Харків: ІР ім. В. Я. Юр'єва, 1992.
- Лихошерст Е. Вплив технологічних способів вирощування на формування врожайності еспарцету в умовах Лісостепу Правобережного. *Вісник аграрної науки*. 2021. Т. 99. № 7. С. 83–86. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202107-10>
- Маткевич В.Т., Резніченко В.П., Коломієць Л.В., Смаліус В.М., Нікіфоров Д.О., Рудак Ю.О., Андрощук С.Т., Лук'янець О.А., Тарасова О. І. Продуктивність і якість кормових культур залежно від умов вирощування в Північному Степу України. *Корми і кормовиробництво*. 2004. Вип. 53. С. 32–35.
- Методика проведення дослідів по кормовиробництву / під ред. А.О. Бабича. Вінниця, 1998. 79 с.
- Петриченко В.Ф., Квітко Г.П., Царенко М.К. Наукові основи інтенсифікації польового кормовиробництва в Україні. Вінниця: ФОП Данилюк В.Г. 2008. 240 с.
- Прима І.Д., Гудзь В.П., Рошко В.Г., Демидась Г.І., Каленська С.М. Раціональні сівоzmіни в сучасному землеробстві. Біла Церква, 2003. 384 с.
- Тищенко О.Д., Тищенко А.В., Пілярська О.О., Очкала О.С., Коблай О.О. Мінливість та кореляційні зв'язки компонентів урожайності насіння еспарцету (*Onobrychis viciifolia* Scop.). *Аграрні інновації*. 2024. № 28. С. 171–176. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.28.27>
- Bhattarai S., Coulman B., Biligetu B. Sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.): renewed interest as a forage legume for western Canada. *Canadian Journal of Plant Science*. 2016. Vol. 96. No. 5. <https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0378>
- Davazdahemami S., Alizadeh M., Jalali S., Zeinali H. Yield and nutritive value of sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) populations in different cuttings and correlation with morphological traits (data 2015-2016). *Canadian Journal of Plant Science*. 2020. Vol. 101. No. 4. <https://doi.org/10.1139/cjps-2020-0131>
- Kempf K., Grieder C., Walter A., Widmer F., Reinhard S., Kölliker R. Evidence and consequences of self-fertilisation in the predominantly outbreeding forage legume *Onobrychis viciifolia*. *BMC Genomic Data*. 2015. Vol. 16. P. 117. <https://doi.org/10.1186/s12863-015-0275-z>
- Luo Ya., Wang K., Yao Yu., Nan L. Exogenous GA3 Promotes Germination by Reducing Endogenous Inhibitors in Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) Seeds. *Plants*. 2025. No. 14. P. 1464. <https://doi.org/10.3390/plants14101464>
- Malisch C., Lüscher A., Baert N., Engström M. T., Studer B., Fryganas C., Suter D., Mueller-Harvey I., Salminen J.-P. Large variability of proanthocyanidin content and composition in

sainfoin (*Onobrychis viciifolia*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015. Vol. 63. No. 47. P. 10234–10242. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04946>

Petkova Z., Antova G.A., Petrova M., Petkova N.T., Petrova A., Stoyanova M., Angelova-Romova M., Teneva O., Stoilova T., Stoyanova A. Bio-morphological traits, chemical composition, and antioxidant activity of two accessions from sainfoin seeds. *Industrial Crops and Products*. 2024. Vol. 222(1). P. 119784. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119784>.

Sakhraoui A., Ltaief H.B., Sakhraoui A., Villalba J.J., Castillo J.M., Rouz S. Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) a legume with great ecological and agronomical potential under climate change. *The Journal of Agricultural Science*. 2024. Vol. 162. P. 307–331. <https://doi.org/10.1017/s0021859624000327>

Sakhraoui A., Ltaief H.B., Sakhraoui A., Villalba J.J., Rouz S., Castillo J.M. Potential use of wild *Onobrychis* species for climate change mitigation and adaptation. *Crop Science*. 2023. Vol. 63. P. 3153–3174. <https://doi.org/10.1002/csc2.21088>

Xiang X., Ma X., Yin H., Chen L., Li J., Li W., Zhang S., Sun C., Zhang B. Genome-wide insights into *Streptomyces* novel species Qhu-G9 and its potential for enhancing salt tolerance and growth in *Avena sativa* L. and *Onobrychis viciifolia* Scop. *Plants*. 2025. Vol. 14. No. 14. P. 2135. <https://doi.org/10.3390/plants14142135>

References

Avramchuk, B.I. (2012). Urozhaynist espartsetu posivnoho zalezno vid elementiv tekhnolohiyi v Pravoberezhnomu Lisostepu [Yield of sainfoin seed depending on elements of technology in the Right-Bank Forest-Steppe]. Suchasne ovochivnytstvo: osvita, nauka ta innovatsiyi, prysvyachenoyi 80-richchyu vid dnya narodzhennya vydatnoho vchenoho-ovochivnyka Barabasha O. Yu.: mater. nauk.-prakt. konf. (Kyiv, 13–14 hrudnya 2012 r.) [Modern vegetable growing: education, science and innovations, dedicated to the 80th anniversary of the birth of the outstanding scientist-vegetable grower Barabash O. Yu.: materials of the scientific-practical conference (Kyiv, December 13–14, 2012)], p. 45–46. [Electronic resource] URL: <https://nubip.edu.ua/node/6803> (access date 10.02.2026) [in Ukrainian].

Antipova, L.K., Tsurkan, N.V., Adamovych, O.M., & Poisha, L.A. (2018). Bahatorichni travy – vazhlyva skladova ekolohichnoho zemlerobstva i kormovyrobnytstva [Perennial grasses are an important component of ecological agriculture and feed production]. *Visnyk ahrarnoyi nauky Prychornomor'ya [Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science]*, 4, 35–41. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2018-4\(100\)-5](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2018-4(100)-5) [in Ukrainian].

Goloborodko, S.P., & Kovtun, V.A. (2003). Problemy kormovyrobnytstva ta vykorystannya kormovykh resursiv u pivdennomu rehioni Ukrayiny [Problems of feed production and use of feed resources in the southern region of Ukraine]. *Tavriiskiyi naukovyi visnyk [Tavria Scientific Bulletin]*, 27, 63–71. [in Ukrainian].

Demydas, G.I., Likhosherst, E.S., & Svystunova, I.V. (2017). Espartset - perspektyvna kultura v kormovyrobnytstvi [Sainfoin - a promising crop in feed production]. *Naukovyy visnyk NUBiP Ukrayiny [Scientific Bulletin of of NULES of Ukraine]*, 269, 17–23. [Electronic resource] URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_agr_2017_269_4 (access date 10.02.2026) [in Ukrainian].

Kayuda, A., & Shepel, A. (2024). Pokryvni kultury u no-till tekhnolohiyi vyroshchuvannya pshenytsi ozymoyi [Cover crops in no-till technology of growing winter wheat]. *Suchasni vektory rozvytku ahrarnoyi nauky: materialy Mizhnarodnoyi naukovy-praktychnoyi konferentsiyi (Kherson, 17–18 veresnya 2024 r.) [Modern Vectors of Agrarian Science Development: proceedings of the International scientific-practical conference (KSAEU, 17–18 September 2024)]*, p. 174–178. [Electronic resource] URL: <http://hdl.handle.net/123456789/10095> (access date 10.02.2026) [in Ukrainian].

Kvitko, G.P., Polishchuk, V.A., Mazur, V.A., Protopish, I.G., & Demydas, G.I. (2013). Bahatorichni travy yak faktor stabilnoho rozvytku zemlerobstva Ukrayiny [Perennial grasses as a factor of stable development of agriculture in Ukraine]. *Zemlerobstvo [Agriculture]*, 85, 63–71. [Electronic resource] URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2013_85_9 (access date 10.02.2026) [in Ukrainian].

Kurhak, V.G., Degodyuk, E.G., & Gavrish, Ya.V. (2022). Kormova produktyvnist lyutsernozlakovykh ahrotsenoziv z riznymi zlakovymi komponentamy [Forage productivity of alfalfa-cereal agroecosystems with different cereal components]. *Visnyk ahrarnoyi nauky [Bulletin of Agricultural Science]*, 100(3), 28–36. <https://doi.org/10.54651/agri.2022.01.06> [in Ukrainian].

Litun, P.P., Belkin, O.O., & Bilyansky, O.I. Paket prykladnykh prohram PPP «OSHЭ» [Package of applied programs of the PPP "OSGE"]. Kharkiv: IR named after V. Ya. Yuryev, 1992 [in Ukrainian].

Lykhosherst, E. (2021). Vplyv tekhnolohichnykh sposobiv vyroshchuvannya na formuvannya vrozhaynosti espartsetu v umovakh Lisostepu Pravoberezhnoho [The influence of technological

methods of growing on the formation of the yield of sainfoin in conditions of the Right-bank Forest-Steppe]. *Visnyk ahrarnoyi nauky [Bulletin of Agricultural Science]*, 99(7), 83–86. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202107-10> [in Ukrainian].

Matkevych, V.T., Reznichenko, V.P., Kolomiets, L.V., Smalius, V.M., Nikiforov, D.O., Rudak, Yu.O., Androschuk, S.T., Lukyanets, O.A., & Tarasova, O.I. (2004). Produktivnist i yakist kormovykh kultur zalezno vid umov vyroshchuvannya v Pivnichnomu Stepu Ukrayiny [Productivity and quality of fodder crops depending on growing conditions in the Northern Steppe of Ukraine]. *Kormy i kormovyrobnytstvo [Feed and feed production]*, 53, 32–35. [in Ukrainian].

Babych, A.O. (1998). Metodyka provedennya doslidiv po kormovyrobnytstvu [Methodology for conducting experiments on feed production]. Vinnytsya, 79 p. [in Ukrainian].

Petrychenko, V.F., Kvitko, G.P., & Tsarenko, M.K. (2008). Naukovi osnovy intensyfikatsiyi polovoho kormovyrobnytstva v Ukrayini [Scientific foundations of intensification of field fodder production in Ukraine]. Vinnytsia: FOP Danylyuk V. G., 240 p. [in Ukrainian].

Primak, I.D., Gudzyk, V.P., Roshko, V.G., Demydas, G.I., & Kalenska, S.M. (2003). Ratsionalni sivozminy v suchasnomu zemlerobstvi [Rational crop rotations in modern agriculture]. Bila Tserkva, 384 p. [in Ukrainian].

Tyshchenko, O.D., Tyshchenko, A.V., Piliarska, O.O., Ochkala, O.S., & Koblai, O.O. (2024). Minlyvist ta korelyatsiyni zv'yazky komponentiv urozhaynosti nasinnya espartsetu (*Onobrychis viciifolia* Scop.) [Variability and correlations of sainfoin seed yield components (*Onobrychis viciifolia* Scop.)]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian Innovations]*, 28, 171–176. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.28.27> [in Ukrainian].

Bhattarai, S., Coulman, B., & Biliget, B. (2016). Sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.): renewed interest as a forage legume for western Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 96, 5. <https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0378> [in English].

Davazdahemami, S., Alizadeh, M., Jalali, S., & Zeinali, H. (2020). Yield and nutritive value of sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) populations in different cuttings and correlation with morphological traits (data 2015–2016). *Canadian Journal of Plant Science*, 101(4). <https://doi.org/10.1139/cjps-2020-0131> [in English].

Kempf, K., Griender, C., Walter, A., Widmer F., Reinhard, S. & Kölliker, R. (2015). Evidence and consequences of self-fertilisation in the predominantly outbreeding forage legume *Onobrychis viciifolia*. *BMC Genomic Data*, 16, 117. <https://doi.org/10.1186/s12863-015-0275-z> [in English].

Luo, Ya., Wang, K., Yao, Yu., & Nan, L. (2025). Exogenous GA3 Promotes Germination by Reducing Endogenous Inhibitors in Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) Seeds. *Plants*, 14, 1464. <https://doi.org/10.3390/plants14101464> [in English].

Malisch, C., Lüscher, A., Baert, N., Engström, M. T., Studer, B., Fryganas, C., Suter, D., Mueller-Harvey, I., Salminen, J.-P. (2015). Large variability of proanthocyanidin content and composition in sainfoin (*Onobrychis viciifolia*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(47), 10234–10242. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04946> [in English].

Petkova, Z., Antova, G.A., Petrova, M., Petkova, N.T., Petrova, A., Stoyanova, M., Angelova-Romova, M., Teneva, O., Stoilova, T., & Stoyanova, A. (2024). Bio-morphological traits, chemical composition, and antioxidant activity of two accessions from sainfoin seeds. *Industrial Crops and Products*, 222(1), 119784. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119784> [in English].

Sakhraoui, A., Ltaief, H.B., Sakhraoui, A., Villalba, J.J., Rouz, S., & Castillo, J.M. (2023). Potential use of wild *Onobrychis* species for climate change mitigation and adaptation. *Crop Science*, 63, 3153–3174. <https://doi.org/10.1002/csc2.21088> [in English].

Sakhraoui, A., Ltaief, H.B., Sakhraoui, A., Villalba, J.J., Rouz, S., & Castillo, J.M. (2023). Potential use of wild *Onobrychis* species for climate change mitigation and adaptation. *Crop Science*, 63, 3153–3174. <https://doi.org/10.1002/csc2.21088> [in English].

Xiang, X., Ma, X., Yin, H., Chen, L., Li, J., Li, W., Zhang, S., Sun, C., & Zhang, B. (2025). Genome-wide insights into *Streptomyces* novel species Qhu-G9 and its potential for enhancing salt tolerance and growth in *Avena sativa* L. and *Onobrychis viciifolia* Scop. *Plants*, 14(14), 2135. <https://doi.org/10.3390/plants14142135> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 09.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 16
Український журнал природничих наук
№ 16

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 633.111.1«324»:631.527:(631.559+004.12)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.17>

СЕЛЕКЦІЙНА ЦІННІСТЬ ЛІНІЙ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗА ПРОДУКТИВНІСТЮ ТА ПОКАЗНИКАМИ ЯКОСТІ ЗЕРНА

Г. Б. Вологдіна¹, О. В. Гуменюк², І. В. Правдзіва³, С. В. Пикало⁴, Н. П. Замліла⁵

Вкрай актуальною для селекціонерів є задача пошуку вихідного матеріалу з високою селекційною цінністю щодо врожайності та її якості. У статті наведено результати з визначення селекційної цінності ліній пшениці озимої за врожайністю, крупністю та біохімічними показниками якості зерна. Дослідження були проведені впродовж 2021–2025 рр. в Миронівському інституті пшениці імені В. М. Ремесла НААН України. Використали польовий, лабораторний і статистичний методи. Установлено, що максимальна середня врожайність була в умовах 2025 р. – 8,46 т/га, а мінімальна (6,30 т/га) – в 2022 р. До стабільних віднесли лінії ЛЮТ 60763 і ЛЮТ 61081. Визначено, що найбільші відмінності між генотипами за показниками якості зерна були в 2022 р., а найменші – в 2021 р. (вміст клейковини) та 2025 р. (крупність зерна й вміст

¹ кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник,
провідний науковий співробітник лабораторії селекції озимої пшениці
(Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН, село Центральне)
e-mail: galinavologdina27@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4643-1784

² кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник,
завідувач лабораторії селекції озимої пшениці
(Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН, село Центральне)
e-mail: alexgyumenyk@ukr.net
ORCID: 0000-0002-1147-088X

³ доктор філософії,
завідувачка лабораторії якості зерна
(Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН, село Центральне)
e-mail: irinaprawdza@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0808-1584

⁴ кандидат біологічних наук, старший дослідник,
провідний науковий співробітник відділу біотехнології, генетики і фізіології
(Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН, село Центральне)
e-mail: pykserg@ukr.net
ORCID: 0000-0002-3158-3830

⁵ кандидат сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник лабораторії селекції озимої пшениці
(Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН, село Центральне)
e-mail: ninazamlila@ukr.net
ORCID: 0009-0003-8660-9115

білка в ньому). Найбільш крупне зерно було сформоване в умовах 2025 р. і 2023 р., максимальний рівень відмітили в лінії ЛЮТ 60963 (50,4 г) і ЛЮТ 60734 (49,5 г). Найбільш стабільними були ЛЮТ 60181 і ЛЮТ 61081. Визначено прямий різної сили зв'язок між урожайністю та крупністю зерна. Більш високий (12,7%) уміст білка в зерні ліній пшениці озимої відмітили в умовах 2021 р., найменший (12,3%) – у 2025 р. Найвищий (12,9%) рівень середнього значення був у лінії ЛЮТ 60963 і ЛЮТ 60763. Установлено негативні кореляції між умістом білка в зерні та врожайністю й компонентом її структури масою 1000 зерен – від -0,13 до -0,65 і від -0,25 до -0,82 відповідно. Підтверджено селекційну цінність ліній ЛЮТ 60763 і ЛЮТ 60963, що не займали перші місця за рівнем урожайності та маси 1000 зерен, але здатні формувати максимальні показники збору білка з одиниці площі та абсолютного вмісту білка. Установлено, що вміст клейковини коливався в межах 20,4% (2022 р.) до 31,8% (2021 р.). Лінія ЛЮТ 60763 мала максимальний показник в середньому по досліді (27,2%). Визначено, що рівень варіювання вмісту клейковини був найвищим за порівняння з крупністю та білковістю зерна. До найбільш стабільних віднесли лінії ЛЮТ 60739 і ЛЮТ 61081. Установлена сильна позитивна кореляція з умістом білка – від 0,67% до 0,98% і негативна – з урожайністю: від -0,19 до -0,80. Отже, за результатами досліджень виділено лінії пшениці озимої з високою селекційною цінністю за продуктивністю та якістю зерна. У 2025 р. лінія ЛЮТ 60963 передана як новий сорт під назвою МІП Єдність на Державну кваліфікаційну експертизу в Український інститут експертизи сортів рослин, лінію ЛЮТ 60763 – планується передати в 2026 р. ЛЮТ 61081 є перспективною лінією за потенціалом урожайності, зі здатністю стабільно формувати підвищений уміст білка.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., лінія, врожайність, маса 1000 зерен, уміст білка та клейковини, варіювання, стабільність.

BREEDING VALUE OF WINTER WHEAT LINES IN TERMS OF PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY INDICATORS

H. B. Volohdina, O. V. Humeniuk, I. V. Pravdziva, S. V. Pykalo, N. P. Zamlila

The search for source material with high breeding value in terms of yield and grain quality is an extremely important task for plant breeders. The article presents the results of determining the breeding value of winter wheat lines by yielding capacity, grain size, and biochemical indicators of grain quality. The studies were carried out in 2021–2025 at the V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat NAAS of Ukraine. Field, laboratory, and statistical methods were used. It was established that the highest average yield was obtained under the conditions of 2025 (8.46 t/ha), while the lowest yield (6.30 t/ha) was recorded in 2022. Lines LUT 60763 and LUT 61081 were classified as stable. The greatest differences among genotypes in grain quality traits were observed in 2022, whereas the smallest differences were recorded in 2021 (gluten content) and in 2025 (grain size and protein content). The largest grain size was formed under the conditions of 2025 and 2023; the highest values were recorded for lines LUT 60963 (50.4 g) and LUT 60734 (49.5 g). Lines LUT 60181 and LUT 61081 were the most stable for grain size. A direct correlation of varying strength between yield and grain size was determined. A higher protein content in grain of winter wheat lines was observed in 2021 (12.7%), whereas the lowest protein content was recorded in 2025 (12.3%). The highest mean protein content (12.9%) was noted in lines LUT 60963 and LUT 60763. Negative correlations were established between grain protein content and yield, as well as with a yield component – grain size – ranging from -0.13 to -0.65 and from -0.25 to -0.82, respectively. The breeding value of lines LUT 60763 and LUT 60963 was confirmed; although these lines did not rank first in terms of yield and 1,000-kernel weight, they were able to form the highest protein yield per unit area and the highest absolute protein content. Gluten content ranged from 20.4% in 2022 to 31.8% in 2021. Line LUT 60763 had the highest gluten content on average in the experiment (27.2%). The level of variation in gluten content was higher compared with grain size and protein content. Lines LUT 60739 and LUT 61081 were classified as the most stable for this trait. A strong positive correlation with protein content (0.67–0.98) and a negative correlation with yield (-0.19 to -0.80) were established. Thus, the study identified winter wheat lines with high breeding value in terms of productivity and grain quality. In 2025, line LUT 60963 was submitted as a new variety called MIP Yednist for State Qualification Testing to the Ukrainian Institute for Plant Variety Examination; line LUT 60763 is planned to be submitted in 2026. Line LUT 61081 is a promising line with high yield potential and the ability to stably form an increased protein content.

Key words: *Triticum aestivum* L., line, yield, 1,000-kernel weight, protein content, gluten content, variation, stability.

Вступ

Важливою складовою агропромислового комплексу України є зернова галузь, що визначає основу економічної безпеки країни. Зернове виробництво займає провідне місце в структурі аграрного сектору економіки. Від рівня ефективності його розвитку залежить добробут населення, гарантування національної продовольчої безпеки та експортні можливості країни (Глупак, 2019). У світовому виробництві зерна частка України становить біля 4 % (Тоцький та ін., 2024).

Відомо, що завдяки своїй високій адаптивності до різних кліматичних умов, пшениця озима (*Triticum aestivum* L.) є однією з основних культур, що забезпечують стабільність продовольчих запасів у багатьох країнах (Jaradat, 2018; Cann et al., 2022; Хорошун і Назаренко, 2024). В Україні її посівні площі щороку сягають 6–7 млн га, що становить близько 38 % від площі всіх зернових (Уліч та ін., 2022). Поліпшення якості українського зерна, яке часто не відповідає світовим стандартам, залишається актуальною проблемою, оскільки майже половина валового збору пшениці в Україні належить до групи Б (Звонар, 2020; Imprà et al., 2020).

Удосконалення сортів пшениці стало вагомим чинником зростання врожайності в світовому масштабі (Abdelmageed et al., 2019; Tadesse et al., 2019). У підвищенні продуктивності та економічної ефективності вирощування пшениці озимої в Україні провідна роль належить створенню сучасних адаптованих до кожного регіону сортів інтенсивного типу з високим генетичним потенціалом продуктивності (Корхова та ін., 2021; Тоцький та ін., 2024). Дослідженнями вчених підтверджено, що сорт, як біологічний фактор, відіграє важливе значення в підвищенні продуктивності сільськогосподарських культур без додаткових витрат матеріально-технічних ресурсів (Kalenska, 2012; Назаренко, 2020; Thakur & Rane, 2020; Тищенко та ін., 2021).

Показники якості зерна пшениці поділяються на борошномельні (натура зерна, маса 1000 зерен, склоподібність, пружність та ін.) і хлібопекарські, що визначають якість борошна: вміст білка та клейковини, її якість, показник седиментації, реологічні властивості тіста, об'ємний вихід хліба із 100 г борошна та інші (Мазур та ін., 2020). Технологічна, борошномельна та товарна цінність зерна пшениці озимої визначається головним чином такими показниками якості зерна, як вміст у ньому білка та клейко-

вини (Божко і Бурдейна, 2010). Як кількість, так і якість зерна пшениці озимої залежить від генотипу сорту та умов середовища. Найбільш впливовими чинниками на рівень прояву цих показників є агрометеорологічні умови вегетаційного періоду та генетичні особливості сорту (Божко і Бурдейна, 2010).

За оцінки технологічних властивостей зерна важливе значення має вміст білка – чим більше його вміст, тим вище харчова цінність борошна (Починок і Радченко, 2011; Правдзіва, 2021). Уміст білків у зерні є важливим фактором, що визначає кінцеву вартість як м'яких, так і твердих сортів пшениці (Yu et al., 2018). Збільшення показника є основною метою численних селекційних програм пшениці в напрямку покращення харчової цінності (Kumar et al., 2018; Yu et al., 2018). У світі давно відомі зразки пшениці м'якої озимої з високим умістом білка, однак за вирощування в інших умовах вони часто формують дрібне й щупле зерно (Моцний та ін., 2021), а рівень прояву ознаки нижчий (Mikulikova et al., 2009). До головних характеристик пшеничного зерна відносять також клейковину, її вміст та якість поліпшують не лише харчову цінність хліба, але й є головною вимогою до хлібопекарських якостей борошна (Demudov et al., 2022). Доведено, що на якісні показники зерна суттєво впливають такі чинники: погодні умови, які склались під час вегетаційного періоду (Гирка та ін., 2010); елементи агротехнологій (попередники, азотні добрива) та генотип (Кудря і Кудря, 2009; Demudov et al., 2021).

Якість зерна є однією з найскладніших селекційних ознак, що обумовлено сукупністю різних її складових, залежно від напрямку використання (Li et al., 2021). Для успішного вирішення проблеми якості зерна пшениці селекційними методами необхідно використовувати в гібридизації батьківські форми з генетично детермінованою високою якістю зерна. В. Г. Крижанівський установив, що практичний інтерес для селекції мають генотипи з максимальним рівнем середнього показника вмісту білка та з мінімальним коефіцієнтом варіації (Крижанівський, 2022).

Отже, селекція пшениці озимої на продуктивність, якість і стійкість до абіотичних й біотичних чинників середовища є складним завданням через наявні між ними зворотні кореляційні залежності. На разі актуальним є пошук вихідного матеріалу з високою селекційною цінністю щодо ство-

рення сортів пшениці озимої, які дозволять вирішити проблему сумісності умов формування врожайності та її якості на фоні трансформації клімату.

Мета – встановити селекційну цінність ліній пшениці озимої за врожайністю, крупністю та біохімічними показниками якості зерна.

Матеріал і методи

Дослідження були проведені впродовж 2021–2025 рр. на полях селекційної сівозміни в лабораторії селекції озимої пшениці Миронівського інституту пшениці імені В.М.Ремесла НААН України (МІП). Агротехніка вирощування – загальноприйнята для зони Лісостепу. Попередник – соя. Стандарт – сорт пшениці озимої Подолянка, створений спільно з Інститутом фізіології рослин і генетики НАНУ. Сівбу проводили сівалкою СН-16-10Ц з нормою висіву 5,0 млн схожих зернин на 1 га, з міжряддями 15 см, ширина ділянки – 1,05 м, облікова площа – 10 м². Розміщення послідовне, повторність – чотирикратна. Строки сівби 25 вересня – 5 жовтня в залежності від погодних умов передпосівного та посівного періоду.

Увесь експериментальний матеріал (сім ліній пшениці озимої) був створений методом внутрішньовидової гібридизації з подальшим інтенсивним добором по колосу в гібридних популяціях, починаючи з F₂. Здійснювали постійний скринінг за показниками якості зерна на етапах підбору батьківських компонентів для схрещування, в гібридів першого покоління, селекційному та контрольному розсадниках, попередньому й конкурсному випробуванні. Під час ідентифікації кращих ліній особлива увага приділялася стабільності прояву як окремих ознак, так і їх комплексу.

Оскільки підвищення врожайності та показників якості зерна більшою мірою залежить від погодних умов під час різних етапів розвитку пшениці озимої (Johansson, 2002; Erekul & Kohn, 2006), важливе значення мав гідротермічний режим у роки досліджень. Для аналізу погодних умов були використані дані агрометеорологічної станції Миронівка. У 2020/21–2024/25 рр. середньомісячна температура повітря за вегетаційний період пшениці озимої перевищувала середній багаторічний показник на 0,4–2,6 °C У 2020/2021 р рівень зволоження був достатнім (ГТК = 1,03), але з повітряно-грунтовою посухою під час сівби, коливанням термічного режиму впродовж

доби навесні, перезволоженням і виляганням посівів під час дозрівання зерна, що призвело до зниження продуктивності пшениці озимої. Погодні умови в 2021/2022 рр. (ГТК = 0,80) були не дуже сприятливими для формування врожайності пшениці озимої: повітряно-грунтова посуха восени, прохолодна весна та значні коливання добової температури повітря. У весняно-літній період 2022/23 р. відмічали дефіцит вологи в травні – червні, але дуже важливими були квітневі опади (197,9 % від норми) на фоні температури повітря, близької до середньої багаторічної, з рівномірним розподілом впродовж перших двох декад, що мало позитивний вплив на рівень урожайності зерна. Спрацював екологічний ефект раннього ЧВВВ – коротка зима та тривала весна, коли температури повітря є винятково сприятливими для нарощування біомаси рослинами пшениці озимої, що позитивно вплинуло на рівень урожайності зерна. Упродовж 2023/2024 р. спостерігали дефіцит вологи в осінній період, теплу зиму, яка згідно температурних показників продовжувалась не більше місяця, тривалий бездощовий період, який супроводжувався не тільки підвищеною температурою повітря, але й значним її зниженням у фазах колосіння, цвітіння. Усе це мало негативний вплив на формування врожайності зерна. Погодні умови впродовж вегетації пшениці озимої в 2024/2025 р. зі сприятливим гідротермічним режимом і раннім відновленням вегетації суттєво вплинули на формування високого потенціалу продуктивності.

У процесі виконання експериментальної частини досліджень використали польовий, лабораторний, порівняльно-розрахунковий і статистичний методи. Закладання дослідів, фенологічні спостереження за фазами росту й розвитку рослин пшениці озимої та обліки проводили згідно з методикою проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні (Методика ..., 2016a). Відповідно до методики проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні (Методика ..., 2016b) та ДСТУ 3768:2019 (2019) визначали масу 1000 зерен, вміст білка (методом інфрачервоної спектроскопії на приладі СПЕКТРАН 119М) і клейковини (відмивання ручним методом). Для аналізу одержаних результатів дослідження обчислили статистичні показники за загальноприйнятими методами з вико-

ристанням комп'ютерної програми MS Excel і STATISTICA 8.0 (Опря та ін., 2014).

Для оцінки ліній за вмістом білка розраховували показники білковості за I. I. Motsnyi et al. (2019):

– збір білка з одиниці площі (урожайність зерна за стандартної вологості, т/га * вміст білка в зерні, % / 100 %);

– абсолютний вміст білка на 1000 зернин (маса 1000 зерен, г * вміст білка в зерні, % / 100 %).

Результати та їх обговорення

За результатами досліджень лінії пшениці озимої сформували максимальну середню врожайність в умовах 2025 р. – 8,46 т/га, всі вони перевищили стандарт – розмах варіювання становив 8,14–8,83 т/га. Лінія ЛЮТ 60963 мала найвищий рівень показника в 2024, 2025 рр. – 7,98 і 8,83 т/га відповідно. Мінімальний (6,30 т/га) середній рівень ознаки був у 2022 р і 2021 р. – 6,30 т/га і 6,35 т/га відповідно, понад половину (57,1 %) генотипів сформували найменшу врожайність впродовж періоду досліджень в умовах 2021 р. Лінія ЛЮТ 60763 зайняла друге місце за врожайністю в несприятливих для формування високої продуктивності умовах – 7,01 (2021 р.) і 6,45 т/га (2022 р.). У середньому по досліді всі лінії перевищили стандарт Подолянку, за виключенням ЛЮТ 60739 (табл. 1).

Рівень урожайності досліджуваних генотипів коливався від 5,39 т/га (стандарт; 2023 р.) до 8,95 т/га (ЛЮТ 60181; 2023 р.). Аналіз коефіцієнтів варіації та рівня фактичних меж мінливості (R) показав низький ступінь варіювання врожайності за період досліджень – від 2,9 % і 0,58 т/га відповідно (2022 р.) до 10,4 % і 1,89 т/га (2021 р.). За мінімальними статистичними показниками (σ , C_v , R) до найбільш стабільних віднесли лінії пшениці озимої з найменшими коливаннями врожайності незалежно від умов року: ЛЮТ 60763 (0,90 т/га; 11,9 %; 2,22 т/га) і ЛЮТ 61081 (1,01 т/га; 13,2 %; 2,28 т/га).

Для оцінки ліній пшениці озимої на якість визначали масу 1000 зерен, як індикатор технологічних і борошномельних властивостей, та біохімічні показники, що істотно впливають на хлібопекарські якості: вміст білка та клейковини. За коефіцієнтом варіації та фактичними межами мінливості (R) ці показники також мали низький рівень варіювання: маса 1000 зерен – від 2,4 % і 2,7 г (2025 р.) до 9,6 % і 12,7 г (2022 р.); вміст білка та клейковини – від 2,5 % і 0,8 % (2025 р.) до 7,4 % і 2,7 % (2022 р.) та від 3,7 % і 3,1 % (2021 р.) до 17,5 % і 10,5 % (2022 р.) відповідно.

Маса 1000 зерен – комплексна ознака, важливий показник якості та невід'ємна складова врожайності (Сандецька

Таблиця 1

Рівень прояву врожайності та показників якості зерна ліній пшениці озимої, середнє за 2020/2021–2024/2025 рр.

Назва лінії	Урожайність, т/га	Маса 1000 зерен, г	Вміст, %	
			білка	клейковини
Подолянка, стандарт	6,54	47,5	12,6	25,7
ЛЮТ 60963	7,44	45,2	12,9	22,9
ЛЮТ 60734	7,32	47,3	12,3	24,7
ЛЮТ 60181	7,31	42,3	12,4	24,7
ЛЮТ 60763	7,55	45,4	12,7	25,2
ЛЮТ 60766	7,24	45,5	12,4	26,1
ЛЮТ 60739	6,68	49,5	11,9	25,5
ЛЮТ 61081	7,64	43,1	12,3	24,3
$\bar{x}$	7,22	45,7	12,4	24,9
max	7,64	49,5	12,9	26,1
min	6,54	42,3	11,9	22,9
R	1,0	7,2	1,0	3,2
σ	0,4	2,4	0,3	1,0
$\bar{x}-\sigma$	6,8	43,4	12,1	23,9
$\bar{x}+\sigma$	7,6	48,1	12,7	25,9
C_v , %	5,5	5,2	2,4	4,0
HIP_{05}	1,66	5,08	0,92	5,63

Примітки: ЛЮТ – лютесценс; статистичні параметри: $\bar{x}$, max, min – середнє, максимальне та мінімальне значення ознаки; R – розмах варіювання; σ – стандартне відхилення; C_v – коефіцієнт варіації; $\bar{x} \pm \sigma$ – адаптивна норма; HIP_{05} – найменша істотна різниця на 95 % рівні вірогідності.

і Дубровна, 2025). Найбільш крупне зерно було сформоване в умовах 2025 р. і 2023 р. – середнє значення становило 48,0 г і 47,5 г відповідно, максимальний рівень відмітили в стандарті (50,6 г і 49,9 г) і ліній ЛЮТ 60963 (50,4 г; 2025 р.) і ЛЮТ 60734 (49,5 г; 2023 р.). У 2021 р. показник був мінімальним – 42,2 г у середньому. Лінія ЛЮТ 60739 сформувала найвищу масу 1000 зерен у 2021 р. (47,2 г), 2022 р. (53,4 г), а в наступні три роки займала третє місце. За період досліджень амплітуда мінливості показника була на рівні від 40,1 г (ЛЮТ 60181; 2021 р.) до 53,4 г. Найбільш стабільними були лінії ЛЮТ 60181 ($R=4,2$ г; $\sigma=2,1$; $Cv=5,0$ %) і ЛЮТ 61081 (5,5 г; 2,6 г; 6,1 % відповідно), але середній показник по досліді вищевказаних ліній був найнижчим – 42,5 г і 43,1 г відповідно.

Результати досліджень вчених вказують на те, що в більшості випадків існує пряма кореляція між крупністю зерна та продуктивністю рослини (Любич, 2013; Господаренко та ін., 2022; Желдубовський; 2024). А.М. Присяжнюк та ін. встановлена пряма залежність маси 1000 насінин від сорту ($HP_{05}=0,77$) (Присяжнюк та ін., 2022). Г. М. Господаренко та ін. визначили, що тіснота зв'язку за коефіцієнтом кореляції між масою 1000 зерен і врожайністю була дуже сильною ($r=0,98$) (Господаренко та ін., 2020). За результатами наших досліджень визначено прямий різної сили зв'язок між ознаками – від слабкого (0,27; Подолянка) до сильного (0,82; ЛЮТ 61081). Отже, результати наших досліджень підтвердили, що на вміст білка великий вплив мають як умови вирощування, так і генотип.

У останні десятиліття попри значне підвищення врожайності зерна пшениці його якість знизилася (Рябовол і Рябовол, 2018; Литвиненко та ін., 2020). Особливо тривожним є відставання вітчизняної селекції щодо якості зерна від провідних світових виробників (Johansson, 2002; Литвиненко та ін., 2020). Надважливим завданням селекціонера є підвищення в зерні пшениці озимої кількості протеїну як головного чинника якості хліба, що обумовлює важливість показника. Більш високий (12,7 %) вміст білка в зерні ліній пшениці озимої відмітили в умовах 2021 р., а найменший (12,3 %) – у 2025 р. Тобто, в роки з несприятливими умовами для одержання високої врожайності білковість зерна збільшувалася. Показник коливався від 11,3 % (ЛЮТ 60739, 2022 р.) до 14,0 % (ЛЮТ 60763, 2022 р.). Найвищий

(12,9 %) рівень середнього значення був у ліній ЛЮТ 60963 і ЛЮТ 60763. За вмістом білка в 2025 р. ЛЮТ 60963 зайняла перше місце (12,8 %), у 2021 р. і 2023 р. – друге (13,7 % і 12,8 % відповідно). Впродовж трьох років (2023–2025) лінія стабільно формувала білковість практично на одному рівні: за виключенням ЛЮТ 60739 (11,9 %), інші лінії мали вміст білка на рівні стандарту або незначно відрізнялися від нього.

У літературі часто зустрічається твердження, що вміст білка знаходиться в зворотній залежності від величини врожайності: чим вищий рівень останнього, тим менша білковість зерна. У наших дослідженнях також виявили цей взаємозв'язок. Установлено негативні кореляції між вмістом білка в зерні та врожайністю й компонентом її структури масою 1000 зерен – від -0,13 (ЛЮТ 61081) до -0,65 (ЛЮТ 60739) і від -0,25 (ЛЮТ 61081) до -0,82 (ЛЮТ 60739) відповідно. Слід зазначити, що такий взаємозв'язок між урожаєм і білком не є обов'язковим (Радченко та ін., 2024). У стандарті Подолянка практично не виявили зв'язку між цими ознаками ($r=0,02$), а в лінії ЛЮТ 60963 установили позитивну кореляцію середньої сили – 0,38. Вірогідно, така тенденція пов'язана з впливом генотипу, який був вирішальним. Визначено за п'ять років досліджень для обох генотипів однакову за силою та спрямуванням залежність між врожайністю та низкою інших ознак якості зерна (маса 1000 зерен, натура зерна, склоподібність, вміст клейковини, загальна оцінка хліба). Також, ЛЮТ 60963, на відміну від стандарту, мала позитивний зв'язок середньої сили між врожайністю та показником седиментації й силою борошна.

Аналіз статистичних показників (R ; σ ; Cv) за ознакою дозволив зробити висновок про їх мінімальний рівень по досліді, що стало результатом селекції не тільки на високу врожайність, як основної мети селекціонера, але й на підвищення вмісту білка. Успіх у селекції на підвищення продуктивності та якості тісно пов'язаний із ретельним підбором батьківських компонентів для схрещувань з якістю сильною та надсильною пшениці, жорстким цілеспрямованим добром у поєднанні з постійним контролем за ознаками. Важливим є проведення візуальної оцінки зерна на всіх етапах процесу з паралельним урахуванням комплексу ознак, що підвищує адаптивний потенціал генотипу.

І. І. Motsnyi et al. дійшли висновку, що визначення загального збору білка з оди-

ниці площі та його абсолютного вмісту на 1000 зернин для порівняння генотипів дає змогу усунути дисперсію за ознакою внаслідок коливань в анатомічній структурі зернівки або продуктивності рослин під впливом чинників зовнішнього середовища (Motsnyi et al., 2019). За результатами наших досліджень лінія ЛЮТ 60763 зайняла перше місце по досліді за середнім значенням (0,9707 т/га) збору білка з одиниці площі, хоча за середньою врожайністю (7,55 т/га) була на другому (табл. 2).

Останній показник, як і середній вміст білка даної лінії знаходились в верхніх межах адаптивної норми $\bar{x} + \sigma$ – 7,6 т/га і 12,7 % відповідно, що вплинуло на місце ЛЮТ 60763 у рейтингу за збором білка. Лінія ЛЮТ 61081 з максимальною (7,64 т/га) по досліді врожайністю і вмістом білка (12,3 %), менше середнього по досліді, була на третьому місці та віднесена до найбільш стабільних за показником ($R=0,1728$ т/га; $\sigma=0,0763$ т/га; $Cv=8,2$ %). Іншу тенденцію спостерігали щодо абсолютного вмісту білка на 1000 зернин: лінія ЛЮТ 60963 була лідером по досліді за білковістю, а за крупністю зерна (45,2 г) наближалась до середнього впродовж досліджень значення – 45,7 г. Лінія ЛЮТ 60739, що сформувала найбільш крупне (49,5 г) зерно в середньому за п'ять років досліджень з мінімальним (11,9 %) вмістом білка в ньому, була на другому місці по досліді за абсолютним вмістом білка на

1000 зернин. Лінія ЛЮТ 60181 з мінімальним рівнем показника по досліді (5,26 г) була віднесена до найбільш стабільних ($R=0,52$ г; $\sigma=0,26$ г; $Cv=5,0$ %). Отже, вдалося підтвердити селекційну цінність ліній ЛЮТ 60763 і ЛЮТ 60963, що не займали перші місця за рівнем урожайності та маси 1000 зерен, але здатні формувати максимальні показники збору білка з одиниці площі та абсолютного вмісту білка.

До важливих показників якості зерна належить уміст клейковини, рівень якого в досліджуваних ліній пшениці озимої був різним, що обумовлювалось генотипом і погодними умовами. За роки досліджень показник коливався в межах 20,4 % (2022 р.) до 31,8 % (2021 р.), у обох випадках був сорт-стандарт Подолянка. У 2021 р. з низьким рівнем середньої врожайності відмітили найбільший уміст клейковини – в середньому 30,2 % з розмахом варіювання 3,1 %, мінімальним за п'ять років. Слід зауважити, що під час формування й наливу зерна кількість опадів у квітні-червні 2021 р. перевищила середнє багаторічне значення на 56,7 мм, що становило 31,9 %. Вірогідно, це був один із чинників, який вплинув на рівень умісту клейковини: у всіх ліній пшениці озимої та стандарту показник відповідав вимогам першого класу й становив 28,7 % і більше. Тобто, несприятливі для формування високої врожайності умови сприяли накопиченню великої кількості клейковини. Лінія ЛЮТ 60763 мала

Таблиця 2

Збір білка з одиниці площі та його вміст на 1000 зернин у ліній пшениці озимої, середнє за 2020/2021–2024/2025 рр.

Назва лінії	Збір білка з одиниці площі, т/га	Абсолютний вміст білка на 1000 зернин, г
Подолянка, стандарт	0,8255	5,99
ЛЮТ 60963	0,9550	5,80
ЛЮТ 60734	0,9036	5,80
ЛЮТ 60181	0,9094	5,26
ЛЮТ 60763	0,9707	5,84
ЛЮТ 60766	0,8947	5,62
ЛЮТ 60739	0,8006	5,88
ЛЮТ 61081	0,9319	5,28
$\bar{x}$	0,8989	5,69
max	0,9707	5,99
min	0,8006	5,26
R	0,1700	0,73
σ	0,0593	0,28
$\bar{x} - \sigma$	0,8397	5,41
$\bar{x} + \sigma$	0,9582	5,96
Cv, %	6,6	4,8

Примітки: ЛЮТ – лютесценс; статистичні параметри: $\bar{x}$, max, min – середнє, максимальне та мінімальне значення ознаки; R – розмах варіювання; σ – стандартне відхилення; $\bar{x} \pm \sigma$ – адаптивна норма; Cv – коефіцієнт варіації.

максимальний показник в середньому по досліді (27,2 %) та в 2022 р. (31,0 %) і 2025 р. (27,6 %), а мінімальний – зайняв друге місце (21,8 %) після лінії ЛЮТ 60739 (23,8 %). Крім того, в 2021 р. ЛЮТ 60763 зайняла третє місце (31,0 %) за вмістом клейковини після стандарту (31,8 %) і ЛЮТ 60766 (31,1 %). Визначення середніх значень умісту клейковини показало незначне варіювання, але їх рівень був найвищим за порівняння з такими ж показниками крупності та білковості зерна. До найбільш стабільних віднесли лінії ЛЮТ 60739 ($R=4,9$ %; $\sigma=2,7$; $Cv=10,8$ %) і ЛЮТ 61081 ($R=6,9$ %; $\sigma=3,0$; $Cv=12,5$ %).

І. Г. Протопіш установив пряму кореляційну залежність масової частки клейковини від умісту білка в зерні пшениці – $r=0,88$ (Протопіш, 2016). Співвідношення частки білка в зерні та клейковини подібним чином характеризують результати досліджень С. М. Крамарьова та ін. (Крамарьов та ін., 2014). Нами була встановлена сильна позитивна кореляція з умістом білка – від 0,67 % (ЛЮТ 60766) до 0,98 % (стандарт) і негативна – з урожайністю: від -0,19 (ЛЮТ 60963) до -0,80 (ЛЮТ 60739). Виключенням була лінія ЛЮТ 61081 – залежність між показниками не встановлена.

Отже, за результатами досліджень було визначено селекційну цінність ліній пшениці озимої за врожайністю, крупністю та біохімічними показниками якості зерна.

Висновки

На основі проведених досліджень і отриманих результатів визначили селекційну цінність ліній пшениці озимої за врожайністю, крупністю та біохімічними показниками якості зерна. Установлено, що максимальна середня врожайність була в умовах 2025 р. – 8,46 т/га з розмахом варіювання 8,14÷8,83 т/га, а мінімальна (6,30 р.) – в 2022 р. Лінія ЛЮТ 60963 мала найвищий рівень показника в 2024, 2025 рр. – 7,98 і 8,83 т/га відповідно. Аналіз коефіцієнтів варіації та рівня фактичних меж мінливості показав низький ступінь варіювання ознаки за період досліджень – від 2,9 % і 0,58 т/га відповідно (2022 р.) до 10,4 % і 1,89 т/га (2021 р.). До найбільш стабільних віднесли лінії пшениці озимої з найменшими коливаннями врожайності незалежно від умов року: ЛЮТ 60763 ($\sigma=0,90$ т/га; $Cv=11,9$ %; $R=2,22$ т/га) і ЛЮТ 61081 ($\sigma=1,01$ т/га; $Cv=13,2$ %; $R=2,28$ т/га).

Визначено, що найбільші відмінності між лініями пшениці озимої за показниками якості зерна були в несприятливому для

формування високої врожайності 2022 р., а найменші – в 2021 р. (вміст клейковини) та 2025 р. (крупність зерна й вміст білка в ньому). Найбільш крупне зерно було сформоване в умовах 2025 р. і 2023 р. – середнє значення становило 48,0 г і 47,5 г відповідно, максимальний рівень відмітили в ліній ЛЮТ 60963 (50,4 г; 2025 р.) і ЛЮТ 60734 (49,5 г; 2023 р.). У 2021 р. показник був мінімальним – 42,2 г у середньому. Лінія ЛЮТ 60739 сформувала найвищу масу 1000 зерен у 2021 р. (47,2 г), 2022 р. (53,4 г), а в наступні три роки займала третє місце. За період досліджень амплітуда мінливості показника була на рівні від 40,1 г (ЛЮТ 60181; 2021 р.) до 53,4 г. Найбільш стабільними були лінії ЛЮТ 60181 ($R=4,2$ г; $\sigma=2,1$; $Cv=5,0$ %) і ЛЮТ 61081 (5,5 г; 2,6 г; 6,1 % відповідно). Визначено прямий різної сили зв'язок між ознаками – від слабкого (0,27; Подолянка) до сильного (0,82; ЛЮТ 61081).

Більш високий (12,7 %) уміст білка в зерні ліній пшениці озимої відмітили в умовах 2021 р., а найменший (12,3 %) – у 2025 р. Тобто, в роки з несприятливими умовами для одержання високої врожайності білковість зерна збільшувалася. Показник коливався від 11,3 % (ЛЮТ 60739, 2022 р.) до 14,0 % (ЛЮТ 60763, 2022 р.). Найвищий (12,9 %) рівень середнього значення був у ліній ЛЮТ 60963 і ЛЮТ 60763. Установлено негативні кореляції між умістом білка в зерні та врожайністю й компонентом її структури масою 1000 зерен – від -0,13 (ЛЮТ 61081) до -0,65 (ЛЮТ 60739) і від -0,25 (ЛЮТ 61081) до -0,82 (ЛЮТ 60739) відповідно. Водночас у стандарті Подолянка практично не виявили зв'язку між цими ознаками ($r=0,02$), а в лінії ЛЮТ 60963 установили позитивну кореляцію середньої сили ($r=0,38$).

Підтверджено селекційну цінність ліній ЛЮТ 60763 і ЛЮТ 60963, що не займали перші місця за рівнем урожайності та маси 1000 зерен, але здатні формувати максимальні показники збору білка з одиниці площі та абсолютного вмісту білка. Визначено, що лінія ЛЮТ 60763 зайняла перше місце по досліді за середнім значенням (0,9707 т/га) збору білка з одиниці площі, хоча за середньою врожайністю (7,55 т/га) була на другому. Останній показник, як і середній вміст білка даної лінії знаходились в верхніх межах адаптивної норми $\bar{x}+\sigma$ – 7,6 т/га і 12,7 % відповідно, що вплинуло на місце ЛЮТ 60763 у рейтингу за збором білка. Лінія ЛЮТ 61081

з максимальною (7,64 т/га) по досліді врожайністю і вмістом білка (12,3 %) була на третьому місці та віднесена до найбільш стабільних за показником ($R=0,1728$ т/га; $\sigma=0,0763$ т/га; $Cv=8,2$ %). Іншу тенденцію спостерігали щодо абсолютного вмісту білка на 1000 зернин: лінія ЛЮТ 60963 була лідером по досліді за білковістю, а за крупністю зерна (45,2 г) наближалась до середнього впродовж досліджень значення – 45,7 г. Лінія ЛЮТ 60739, що сформувала найбільш крупне (49,5 г) зерно в середньому за п'ять років досліджень з мінімальним (11,9 %) вмістом білка в ньому, була на другому місці по досліді за абсолютним вмістом білка на 1000 зернин. Лінія ЛЮТ 60181 з мінімальним рівнем показника по досліді (5,26 г) була віднесена до найбільш стабільних ($R=0,52$ г; $\sigma=0,26$ г; $Cv=5,0$ %).

Установлено, що вміст клейковини коливався в межах 20,4 % (2022 р.) до 31,8 % (2021 р.). У 2021 р. з низьким рівнем середньої врожайності відмітили найбільший вміст клейковини – в середньому 30,2 % з розмахом варіювання 3,1 %, мінімальним за п'ять років. Лінія ЛЮТ 60763 мала максимальний показник в середньому по досліді (27,2 %) та в 2022 р. (31,0 %)

і 2025 р. (27,6 %). Визначено, що рівень варіювання вмісту клейковини був найвищим за порівняння з крупністю та білковістю зерна. До найбільш стабільних віднесли лінії ЛЮТ 60739 ($R=4,9$ %; $\sigma=2,7$; $Cv=10,8$ %) і ЛЮТ 61081 ($R=6,9$ %; $\sigma=3,0$; $Cv=12,5$ %). Установлена сильна позитивна кореляція з вмістом білка – від 0,67 % (ЛЮТ 60766) до 0,98 % (стандарт) і негативна – з урожайністю: від -0,19 (ЛЮТ 60963) до -0,80 (ЛЮТ 60739).

Отже, за результатами досліджень виділено лінії пшениці озимої з високою селекційною цінністю за продуктивністю та якістю зерна. У 2025 р. лінія ЛЮТ 60963 передана як новий сорт під назвою МПП Єдність на Державну кваліфікаційну експертизу в Український інститут експертизи сортів рослин, лінію ЛЮТ 60763 – планується передати в 2026 р. Обидві лінії мають високі адаптивні властивості, стабільно формують підвищений рівень урожайності та якості зерна. Продовжується комплексне вивчення в конкурсному випробуванні лабораторії селекції озимої пшениці перспективної лінії ЛЮТ 61081, з високим потенціалом урожайності та здатністю стабільно формувати підвищений вміст білка.

Список використаної літератури

- Божко А.Ю., Бурдейна І.В. Вплив погодних умов на формування якості зерна озимої пшениці в Поліссі. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2010. № 7. С. 109–115.
- Гирка А.Д., Ярошенко С.С., Гасанова І.І., Педаш О.О., Желязков О.І. Особливості формування урожайності і якості зерна озимої пшениці залежно від строків сівби та азотних підживлень. *Бюлетень Інституту зернового господарства*. 2010. № 38. С. 33–40.
- Глупак З.І. Стандартизація та сертифікація зерна в Україні та країнах Європейського Союзу. *Наукові горизонти*. 2019. Т. 22, № 7. С. 63–69. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2019-80-7-63-69>.
- Господаренко Г.М., Черно О.Д., Любич В.В., Рябовол Я.С., Крижанівський В.Г. Урожайність та хлібопекарські властивості зерна пшениці озимої при різних дозах і строках застосування азотних добрив. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 3. С. 21–31. <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.03.02>
- ДСТУ 3768:2019. Пшениця. Технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 21 с.
- Желдубовський М.С., Ярошук С.В., Дубовик І.І. Вплив строків сівби на формування показників структури врожаю пшениці озимої. *Аграрні інновації*. 2024. Вип. 24. С. 67–72. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.24.9>.
- Звонар А.М. Вплив погодних умов року та сортових особливостей на споживання азоту та формування якості зерна пшениці озимої. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2020. Вип. 3. С. 87–95. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3\(107\)-11](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3(107)-11).
- Корхова М.М., Нікончук Н.В., Панфілова А.В. Адаптивний потенціал нових сортів пшениці озимої в умовах Південного Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2021. Вип. 122. С. 48–55. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.122.7>.
- Крамарьов С.М., Жемела Г.П., Шакалій С.М. Продуктивність та якість зерна пшениці м'якої озимої залежно від мінерального живлення в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2014. № 6. С. 61–67.

Крижанівський В.Г. Особливості формування якості зерна сортів пшениці озимої в Правобережному Лісостепу. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2022. Т. 18, № 1. <https://doi.org/10.31548/dopovid2022.01.008>.

Кудря С.І., Кудря Н.А. Вплив зернобобових попередників на запаси вологи в ґрунті та урожайність пшениці озимої в умовах лівобережної частини Лісостепу України. *Бюлетень Інституту зернових культур УААН*. 2009. № 36. С. 32–35.

Литвиненко М.А., Голуб Є.А., Литвиненко Р.І., Щербина З.В. Особливості створення екстрасильного сорту пшениці м'якої озимої Мудрість одеська та реалізації його генетичного потенціалу. *Селекція і насінництво*. 2020. Вип. 118. С. 45–57. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2020.222307>

Любич В.В. Фізичні показники якості зерна пшениці озимої залежно від сорту. *Новітні агро-технології*. 2013. № 1(1). С. 62–70 [https://doi.org/10.21498/na.1\(1\).2013.119728](https://doi.org/10.21498/na.1(1).2013.119728).

Мазур О.В., Мазур О.В., Лозінський М.В. Селекція та насінництво польових культур: навчальний посібник. Вінниця: ТВОРИ, 2020. 348 с.

Методика проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні / за ред. С.О. Ткачик. Вінниця : ФОП Корзун Д.Ю., 2016а. 82 с.

Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Методи визначення показників якості продукції рослинництва / за ред. С.О. Ткачик, 4-те вид. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2016b. С. 6–64.

Моцний І.І., Нарган, Т.П., Наконечний М.Ю., Лифенко С.П., Молодченкова О.О., Міщенко А.Т. Різноманіття похідних віддаленої гібридизації озимої пшениці за стійкістю до хвороб та іншими чужинними ознаками. *Вісник Одеського національного університету. Біологія*. 2021. Т. 26, № 2(49). С. 51–72. [https://doi.org/10.18524/2077-1746.2021.2\(49\).246884](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2021.2(49).246884).

Назаренко М.М. Продуктивність сучасних сортів пшениці озимої в умовах підзони Півночі Степу України. *Аграрні інновації*. 2020. № 4. С. 120–125. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2020.4.18>.

Опря А.Т., Дорогань-Писаренко Л.О., Єгорова О.В., Кононенко Ж.А. Статистика: навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2014. 536 с.

Починок В.М., Радченко О.М. Сучасний стан досліджень запасних білків пшениці. *Фізіологія і біохімія культ. растений*. 2011. Т. 43, № 3. С. 255–266.

Правдзіва І.В. Кореляція між ознаками якості зерна пшениці м'якої озимої. *Актуальні проблеми агропромислового виробництва України: сталий розвиток сільського господарства в умовах змін клімату* : матеріали Х Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених (с. Оброшине, 11 листопада 2021 р.). Львів-Оброшине, 2021. С. 57–58.

Присяжнюк А.М., Хоменко Т.М., Ляшенко С.О., Мельник С.І. Показники продуктивності нових сортів пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) залежно від факторів вирощування. *Plant Varieties Studying and protection*. 2022. Вип. 18(4). С. 273–282. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.18.4.2022.273989> [in Ukrainian].

Протопіш І.Г. Оцінювання взаємозв'язків показників якості зерна пшениці озимої. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 3. С. 72–75. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201603-15>

Радченко М.В., Скидан М.С., Желдубовський М.С. Дослідження формування продуктивності та якості зерна сортів пшениці озимої різних за походженням. *Аграрні інновації*. 2024. № 26. С. 101–105. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2024.26.14>.

Рябовол Я., Рябовол Л. Оцінка якості зерна селекційних зразків пшениці м'якої озимої. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія*. 2018. Т. 1, № 22. С. 194–200.

Сандецька Н.В., Дубровна О.В. Сучасний стан досліджень якості зерна пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2025. Т. 57, № 3. С. 187–222. <https://doi.org/10.15407/frg2025.03.187>

Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Пілярська О.О., Куц Г.М., Гальченко Н.М. Адаптивна здатність – важлива ознака в селекції рослин. *Зрошуване землеробство*. 2021. № 75. С. 101–109. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.75.19>.

Тоцький В.М., Марініч Л.Г., Шостя А.М., Кузьменко А.М., Ільченко М.О. Вплив сортових властивостей на урожайність та якість зерна пшениці озимої. *SWorldJournal*. 2024. Вип. 24, Ч. 2. С. 110–115. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2024-24-00-002>.

Уліч О.А., Литвиненко М.А., Корхова М.М., Хахула В.С. Новий екстрасильний сорт пшениці м'якої озимої Мудрість одеська, адаптований до посушливих умов. *Вісник аграрної науки*. 2022. Т. 100, № 4. С. 48–56. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202204-06>.

Хорошун І.В., Назаренко М.М. Особливості формування продуктивності та якості зерна у пшениці озимої. *Аграрні інновації*. 2024. № 26. С. 162–166. <https://doi.org/10.32848/agr.innov.2024.26.24>.

Abdelmageed K., Xuhong C., Demei W., Yanjie W., Yushuang Y., Guangcai Z., Zhiqiang T. Evolution of varieties and development of production technology in Egypt wheat: A review. *Journal of Integrative Agriculture*. 2019. Vol. 18. № 3. P. 483–495. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62053-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62053-2).

Cann D.J., Hunt J.R., Rattey A., Harris F.A.J., Porker K.D. Indirect early generation selection for yield in winter wheat. *Field Crops Research*. 2022. Vol. 282. 108505. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108505>.

Demydov O., Hudzenko V., Pravdziva I., Siroshtan A., Volohdina H., Zaima O., Suddenko Yu. Manifestation and variability level of yield and grain quality indicators in winter bread wheat depending on natural and anthropogenic factors. *Romanian Agricultural Research*. 2022. No. 39. P. 175–185. <https://doi.org/10.59665/rar3917>.

Demydov O., Pravdziva I., Hudzenko V., Rysin A., Volohdina H., Siroshtan A., Yurchenko T., Zaima O., Misiura I. Formation of flour quality indicators in different winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes depending on abiotic and anthropogenic factors. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11. Iss. 8. P. 111–118. https://doi.org/10.15421/2021_277.

Erekul O., Kohn W. Effect of weather and soil conditions on yield components and bread-making quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter triticale (*Triticosecale* Wittm.) varieties in north-east Germany. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2006. Vol. 192. Iss. 6. P. 452–464. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2006.00234.x>.

Impa S.M., Vennapusa A.R., Bheemanahalli R., Sabela D., Boyle D., Walia H., Jagadish K. High night temperature induced changes in grain starch metabolism alters starch, protein, and lipid accumulation in winter wheat. *Plant, Cell & Environment*. 2020. Vol 43, Iss. 2. P. 431–447. <https://doi.org/10.1111/pce.13671>.

Jaradat A.A. Simulated climate change differentially impacts phenotypic plasticity and stoichiometric homeostasis in major food crops. *Emirates Journal of Food and Agriculture. Special Issue: Climate Change and Food Security*. 2018. Vol. 30. Iss. 6. P. 429–442.

Johansson E. Effect of two wheat genotypes and Swedish environment on falling number, amylase activities, and protein concentration and composition. *Euphytica*. 2002. Vol. 126. P. 143–149. <https://doi.org/10.1023/A:1019646916905>.

Kalenska S., Rakhmetov J., Nidzelskiy V., Mokrienko V., Novitcka N., Kachura I. Bioresource potential of Ukraine in Settling of production and energy security. *Earth bioresources and environmental biosafety challenges and opportunities* : Proceedings of the Intern. Scientific confer. Kyiv: NULES of Ukraine, 2013. 14 p.

Kumar A., Jain S., Elias E.M., Ibrahim M., Sharma L.K. An overview of QTL identification and marker-assisted selection for grain protein content in wheat. *Eco-friendly Agro-biological Techniques for Enhancing Crop Productivity*. 2018. P. 245–274. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6934-5_11.

Li T., Deng G., Tang Ya., Su Y., Wang J., Cheng J., Yang Z., Qiu X., Pu X., Zhang H., Liang J., Yu M., Wei Y., Long H. Identification and validation of a novel locus controlling spikelet number in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. 611106. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.611106>.

Mikulikova D., Masar S., Horvathova V., Kraic J. Stability of quality traits in winter wheat cultivars. *Czech Journal of Food Sciences*. 2009. Vol. 27. Iss. 6. P. 403–417. <https://doi.org/10.17221/96/2009-CJFS>.

Motsnyi I.I., Lytvynenko M.A., Molodchenkova O.O., Sokolov V.M., Fayt V.I., Sechniak V.Yu. Development of winter wheat starting material using interspecific crossing in breeding for increased protein content. *Cytology and Genetics*. 2019. Vol. 53. Iss. 2. P. 113–123. <https://doi.org/10.3103/S0095452719020075>.

Tadesse W., Sanchez-Garcia M., Assefa S., Amri A., Bishaw Z., Ogbonnaya F., Baum M. Genetic gains in wheat breeding and its role in feeding the world. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*. 2019. Vol. 1. Iss. 1. e190005. <https://doi.org/10.20900/CBGG20190005>.

Thakur V., Rane J. Assimilate limitation compensating factors under environmental stresses in wheat. *Journal of Cereal Research*. 2020. Vol. 12. № 3. P. 213–228. <http://doi.org/10.25174/2582-2675/2020/105762>.

Yu Z., Islam S., She M., Diepeveen D., Zhang Y., Tang G., Zhang J., Juhasz A., Yang R., Ma W. Wheat grain protein accumulation and polymerization mechanisms driven by nitrogen fertilization. *Plant Journal*. 2018. Vol. 96. Iss. 6. P. 1160–1177. <https://doi.org/10.1111/tpj.14096>.

References

- Bozhko, L.Y., & Burdeina, I.V. (2010). Vplyv pohodnykh umov na formuvannia yakosti zerna ozymoi pshenytsi v Polissi [Influence of weather conditions on the formation of the grain quality of winter wheat in Polissia]. *Ukrainskyi hidrometeoropohichnyi zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 7, 109–115. [in Ukrainian].
- Hyrka, A.D., Yaroshenko, S.S., Hasanova, I.I., Pedash, O.O., & Zheliazkov, O.I. (2010). Osoblyvosti formuvannia urozhainosti i yakosti zerna ozymoi pshenytsi zalezno vid strokiv sivy ta azotnykh pidzhyvlen [The peculiarities of forming winter wheat yield and grain quality, depending on sowing dates and nitrogen feeding]. *Bulleten Instytutu zernovoho hospodarstva [Bulletin of the Institute of Grain Farming]*, 38, 33–40. [in Ukrainian].
- Hlupak, Z.I. (2019). Standartyzatsiia ta sertyfikatsiia zerna v Ukraini ta krainakh Yevropeiskoho Soiuzu [Standardization and certification of grain in Ukraine and the European Union countries]. *Naukovi horyzonty [Scientific Horizons]*, 22 (7), 63–69. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2019-80-7-63-69> [in Ukrainian].
- Hospodarenko, G.M., Cherny, O.D., Lubich, V.V., Ryabovol, Y.S., & Kryzhanivsky, V.G. (2020). Urozhainist ta khlibopekarski vlastyvy zerna pshenytsi ozymoi pry riznykh dozakh i strokakh zastosuvannia azotnykh dobryv [Yield and baking properties of winter wheat grain at different doses and terms of nitrogen fertilizer application]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi akademii [Bulletin of Poltava State Agrarian Academy]*, 3, 21–31. <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.03.0> [in Ukrainian].
- DSTU 3768:2019 (2019). Pshenytsia. Tekhnichni umovy [Wheat. Specifications]. Kyiv: DP “UkrNDNTs” [in Ukrainian].
- Zheldubovskiy, M.S., Yaroshchuk, S.V., & Dubovyk, I.I. (2024). Vplyv strokiv sivy na formuvannia pokaznykiv struktury vrozhaiu pshenytsi ozymoi [The influence of sowing dates on the formation of indicators of the structure of the winter wheat harvest]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian innovations]*, 24, 67–72. <https://doi.org/10.32848/ahar.innov.2024.24.9> [in Ukrainian].
- Zvonar, A.M. (2020). Vplyv pohodnykh umov ta sortovykh osoblyvostei na spozhyvannia azotu ta formuvannia yakosti zerna pshenytsi ozymoi [Influence of weather conditions of the year and variety features on nitrogen consumption and formation of winter wheat grain quality]. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomia [Ukrainian Black Sea region agrarian science]*, 3, 87–95. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3\(107\)-11](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3(107)-11) [in Ukrainian].
- Korkhova, M.M., Nikonchuk, N.V., & Panfilova, A.V. (2021). Adaptivnyi potentsial novykh sortiv pshenytsi ozymoi v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Adaptive potential of new winter wheat varieties in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine]. *Tavriiskyi naukovi visnyk [Taurida Scientific Herald]*, 122, 48–55. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.122.7> [in Ukrainian].
- Kramarov, S.M., Zhemela, H.P., & Shakalii, S.N. (2014). Produktivnist ta yakist zerna pshenytsi miakoi ozymoi zalezno vid mineralnogo zhyvlennia v umovakh Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Productivity and grain quality of winter bread wheat depending on mineral fertilization in environment of Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Biuleten Instytutu silskoho hospodarstva stepovoi zony NAAN Ukrainy [Bulletin Institute of Agriculture of Steppe Zone NAAS of Ukraine]*, 6, 61–67 [in Ukrainian].
- Kryzhanovskiy, V.G. (2022). Osoblyvosti formuvannia yakosti zerna sortiv pshenytsi ozymoi v Pravoberezhnomu Lisostepu [Peculiarities of grain quality formation of winter wheat varieties in the Right bank Forest steppe]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy [Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine]*, 18 (1). <https://doi.org/10.31548/dopovidi2022.01.008> [in Ukrainian].
- Kudria, S.I., & Kudria, N.A. (2009). Vplyv poperednykh na zapasy volohy v grunti ta vrozhaunist pshenytsi ozymoi v umovakh livoberezhnoi chastyny Lisostepu Ukrainy [Influence of the leguminous predecessors on stocks of a moisture in ground and productivity of winter wheat in conditions of the left part of the Ukrainian wood-steppe]. *Bulleten Instytutu zernovykh kultur UAAN [Bulletin of the Institute of Grain Crops UAAS]*, 36, 32–35 [in Ukrainian].
- Lytvynenko, M.A., Holub, Ye.A., Lytvynenko, R.I., Shcherbyna, Z.V. (2020). Osoblyvosti stvorennia ekstrasylnoho sortu pshenytsi miakoi ozymoi Mudrist odeska ta realizatsii yoho henetychnoho potentsialu [Peculiarities of creation of extra-strong bread winter wheat variety Mudrist odeska and realization of its genetic potential]. *Selektsiia i nasinnytstvo [Plant Breeding and Seed Production]*, 118, 45–57. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2020.222307> [in Ukrainian].
- Liubych, V.V. (2013). Fizychni pokaznyky yakosti zerna pshenytsi ozymoi zalezno vid sortu [Physical characteristics of winter wheat grain quality depending on the variety]. *Noivitni ahrotekhnologii [Advanced Agritechnologies]*, 1, 62–70. [https://doi.org/10.21498/na.1\(1\).2013.119728](https://doi.org/10.21498/na.1(1).2013.119728) [in Ukrainian].
- Mazur, O.V., Mazur, O.V., & Lozinskyi, M.V. (2020). Selektsiia ta nasinnytstvo polovykh kultur: navchalnyi posibnyk [Plant breeding and seed production of field crops: A textbook]. Vinnytsia: TWORY [in Ukrainian].
- Tkachyk, S.O. (Ed.) (2016). Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv roslin hrupy zernovykh, krupianykh ta zernobobovykh na prydatnist do poshyrennia v Ukraini [Methodology for examination of plant varieties of the cereal, grain and leguminous group for suitability for distribution in Ukraine]. Vinnytsia: FOP Korzun D.Yu. [in Ukrainian].

Tkachyk, S.O. (Ed.). (2016). *Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv roslyn na prydatnist do poshyrennia v Ukraini. Metody vyznachennia pokaznykiv yakosti produktsii roslinnyystva* [Methodology for conducting qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. Methods for determining quality indicators of crop production]. (4th ed.) (pp. 6–64). Vinnytsia: TOV “Nilan-LTD”. [in Ukrainian].

Motsnyi, I.I., Nargan, T.P., Nakonechnyi, M.Yu., Lyfenko, S.Ph., Molodchenkova, O.O., & Mishchenko, L.T. (2021). Riznomanittia pokhidnykh viddalenoj hibrydyzatsii ozymoi pshenytsi za stiikistiu do khvorob ta inshymy chuzhynnymy oznakamy [Diversity of wide hybridization derivatives of winter wheats for resistance to diseases and other alien characters]. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Biologiya* [Odesa National University Herald. Biology], 26 (2), 51–72. [https://doi.org/10.18524/2077-1746.2021.2\(49\).246884](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2021.2(49).246884) [in Ukrainian].

Nazarenko, M.M. (2020). Produktivnist suchasnykh sortiv pshenytsi ozymoi v umovakh pidzony Pivnochi Stepu Ukrainy [Productivity of modern winter wheat varieties under the conditions of Ukrainian Northern Steppe subzone]. *Ahrarni innovatsii* [Agrarian innovations], 4, 120–125. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.4.18> [in Ukrainian].

Opria, A.T., Dorohan-Pysarenko, L.O., Yehorova, O.V., & Kononenko, Zh.A. (2014). *Statystyka: navchalnyi posibnyk* [Statistics: textbook]. Kyiv: Educational Literature Center [in Ukrainian].

Pochinok, V.M., & Radchenko, A.N. (2011). Suchasnyi stan doslidzhen zapasnykh bilkiv pshenytsi [Current status of investigations of wheat storage proteins]. *Phiziologiya i biokhimiia kulturnykh rastenii* [Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants], 43 (3), 255–266. [in Ukrainian].

Pravdziva, I.V. (2021). Koreliatsiia mizh oznakamy yakosti zerna pshenytsi miakoi ozymoi [Correlation between grain quality traits of winter bread wheat]. *Materialy X Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh: Aktualni problemy ahropromyslovoho vyrobnytstva Ukrainy: stalnyi rozvytok silskoho hospodarstva v umovakh zmin klimatu* [Materials of the X All-Ukrainian scientific and practical conference of young scientists: Actual problems of agro-industrial production of Ukraine: sustainable development of agriculture in the conditions of climate change]. Lviv-Obroshyne, 57–58. [in Ukrainian].

Prysiashniuk, L., Khomenko, T., Liashenko, S., & Melnyk, S. (2022). Pokaznyky produktyvnosti novykh sortiv pshenytsi miakoi ozymoi (*Triticum aestivum* L.) zalezno vid faktoriv vyroshchuvannia [The growing factors impact the productivity of new soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties]. *Plant Varieties Studying and Protection*, 18(4), 273–282. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.18.4.2022.273989> [in Ukrainian].

Protopish, I.G. (2016). Otsiniuvannia vzaimozviazkiv pokaznykiv yakosti zerna pshenytsi ozymoi [Assessment of correlation of quality factors of winter wheat]. *Visnyk ahrarnoi nauky* [News of Agrarian Sciences], 3, 7–75. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201603-15> [in Ukrainian].

Radchenko, M.V., Skydan, M.S., & Zheldubovskiy, M.S. (2024). Doslidzhennia formuvannia produktyvnosti ta yakosti zerna sortiv pshenytsi ozymoi riznykh za pokhodzhenniam [Research on the formation of productivity and grain quality of winter wheat varieties of different origins]. *Ahrarni innovatsii* [Agrarian innovations], 26, 101–105. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.26.14> [in Ukrainian].

Riabovol, I., & Riabovol, L. (2018). Otsinka yakosti zerna selektsiinykh zrazkiv pshenytsi miakoi ozymoi [Evaluation of quality of grains of selective samples of soft winter wheat]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu* [Bulletin of Lviv National Agrarian University. Agronomy], 22 (1), 194–200. [in Ukrainian].

Sandetska N.V., & Dubrovna, O.V. (2025). Suchasnyi stan doslidzhen yakosti zerna pshenytsi [Current state of research on wheat grain quality]. *Fiziologiya roslin i henetyka* [Plant Physiology and Genetics], 57 (3), 187–222. <https://doi.org/10.15407/frg2025.03.187> [in Ukrainian].

Tyshchenko, A.V., Tyshchenko, O.D., Piliarska, O.O., Kuts, G.M., & Galchenko, N.M. (2021). Adaptivna zdattist – vazhlyva oznaka v selektsii roslin [Adaptive ability is an important feature in plant breeding]. *Zroshuvane zemlerobstvo* [Irrigated farming], 75, 101–109. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.75.19> [in Ukrainian].

Totskiy, V.M., Marinich, L.G., Shostya, A.M., Kuzmenko, L., & Ilchenko, M.O. (2024). Vplyv sortovykh vlastyvostei na urozhainist ta yakist zerna pshenytsi ozymoi [Influence of varietal properties on grain yield and quality of winter wheats]. *SWorldJournal*, 2(24-02), 110–115. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2024-24-00-002> [in Ukrainian].

Ulich, O., Lytvynenko, M., Korkhova, M., & Khakhula, V. (2022). Novyi ekstrasylnyi sort pshenytsi miakoi ozymoi Mudrist odeska, adaptovanyi do posushlyvykh umov [New extra-strong variety of soft winter wheat Mudrist Odeska adapted to drought conditions]. *Visnyk ahrarnoi nauky* [Bulletin of Agricultural Science], 100 (4), 48–56. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202204-06> [in Ukrainian].

Khoroshun, I.V., & Nazarenko, M.M. (2024). Osoblyvosti formuvannia produktyvnosti ta yakosti zerna u pshenytsi ozymoi [Peculiarities of productivity and grain quality formation in winter wheat]. *Ahrarni innovatsii* [Agrarian innovations], 26, 162–166. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.26.24> [in Ukrainian].

Abdelmageed, K., Xuhong, C., Demei, W., Yanjie, W., Yushuang, Y., Guangcai, Z., & Zhiqiang, T. (2019). Evolution of varieties and development of production technology in Egypt wheat: A review.

Journal of Integrative Agriculture, 18 (3), 483–495. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62053-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62053-2) [in English].

Cann, D.J., Hunt, J.R., Rattey, A., Harris, F.A.J., & Porker, K.D. (2022). Indirect early generation selection for yield in winter wheat. *Field Crops Research*, 282, 108505. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108505> [in English].

Demydov, O., Hudzenko, V., Pravdziva, I., Siroshstan, A., Volohdina, H., Zaima, O., & Suddenko, Yu. (2022). Manifestation and variability level of yield and grain quality indicators in winter bread wheat depending on natural and anthropogenic factors. *Romanian Agricultural Research*, 39, 175–185. <https://doi.org/10.59665/rar3917> [in English].

Demydov, O., Pravdziva, I., Hudzenko, V., Rysin, A., Volohdina, H., Siroshstan, A., Yurchenko, T., Zaima, O., & Misiura, I. (2021). Formation of flour quality indicators in different winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes depending on abiotic and anthropogenic factors. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11 (8), 111–118. https://doi.org/10.15421/2021_277 [in English].

Erekul, O., & Kohn, W. (2006). Effect of weather and soil conditions on yield components and bread-making quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter triticale (*Triticosecale* Wittm.) varieties in north-east Germany. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192 (6), 452–464. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2006.00234.x> [in English].

Impa, S.M., Vennapusa, A.R., Bheemanahalli, R., Sabela, D., Boyle, D., Walia, H., & Jagadish, K. (2020). High night temperature induced changes in grain starch metabolism alters starch, protein, and lipid accumulation in winter wheat. *Plant, Cell & Environment*, 43 (2), 431–447. <https://doi.org/10.1111/pce.13671> [in English].

Jaradat, A.A. (2018). Simulated climate change differentially impacts phenotypic plasticity and stoichiometric homeostasis in major food crops. *Emirates Journal of Food and Agriculture. Special Issue: Climate Change and Food Security*, 30 (6), 429–442. [in English].

Kalenska, S., Rakhmetov, J., Nidzelskiy, V., Mokrienko, V., Novitcka, N., & Kachura, I. (2013). Bioresource potential of Ukraine in settling of production and energy security. *Earth bioresources and environmental biosafety challenges and opportunities: Proceedings of the International Scientific confer.* Kyiv: NULES of Ukraine. 14 p. [in English].

Kumar, A., Jain, S., Elias, E.M., Ibrahim, M., & Sharma, L.K. (2018). An overview of QTL identification and marker-assisted selection for grain protein content in wheat. *Eco-friendly Agro-biological Techniques for Enhancing Crop Productivity* (pp. 245–274). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6934-5_11 [in English].

Li, T., Deng, G., Tang, Ya., Su, Y., Wang, J., Cheng, J., Yang, Z., Qiu, X., Pu, X., Zhang, H., Liang, J., Yu, M., Wei, Y., & Long, H. (2021). Identification and validation of a novel locus controlling spikelet number in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 12, 611106. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.611106> [in English].

Mikulikova, D., Masar, S., Horvathova, V., & Kraic, J. (2009). Stability of quality traits in winter wheat cultivars. *Czech Journal of Food Sciences*, 27 (6), 403–417. <https://doi.org/10.17221/96/2009-CJFS> [in English].

Motsnyi, I.I., Lytvynenko, M.A., Molodchenkova, O.O., Sokolov, V.M., Fayt, V.I., & Sechniak, V.Yu. (2019). Development of winter wheat starting material using interspecific crossing in breeding for increased protein content. *Cytology and Genetics*, 53 (2), 113–123. <https://doi.org/10.3103/S0095452719020075> [in English].

Tadesse, W., Sanchez-Garcia, M., Assefa, S., Amri, A., Bishaw, Z., Ogonnaya, F., & Baum, M. (2019). Genetic gains in wheat breeding and its role in feeding the world. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, 1, Article e190005. <https://doi.org/10.20900/CBGG20190005> [in English].

Thakur, V., & Rane, J. (2020). Assimilate limitation compensating factors under environmental stresses in wheat. *Journal of Cereal Research*, 12 (3), 213–228. <http://doi.org/10.25174/2582-2675/2020/105762> [in English].

Yu, Z., Islam, S., She, M., Diepeveen, D., Zhang, Y., Tang, G., Zhang, J., Juhasz, A., Yang, R., & Ma, W. (2018). Wheat grain protein accumulation and polymerization mechanisms driven by nitrogen fertilization. *Plant Journal*, 96 (6), 1160–1177. <https://doi.org/10.1111/tpj.14096> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 27.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 09.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



УДК 633.282:631.811:620.92
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.18>

ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ БІОМАСИ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ

Т. І. Дмитраш¹, Я. Я. Григорів²

У статті представлено результати комплексних польових та лабораторних досліджень щодо впливу систем мінерального живлення та позакореневого підживлення біостимуляторами на продуктивність і якісні характеристики міскантусу гігантського (*Miscanthus giganteus*) сорту Осінній зорецвіт в умовах західного Лісостепу України на дерново-підзолистих ґрунтах. Актуальність роботи зумовлена необхідністю пошуку ефективних технологічних рішень для підвищення виходу біоенергетичної сировини в умовах дефіциту традиційних енергоносіїв та зміни кліматичних умов. У ході досліджень 2024–2025 рр. було проаналізовано дію повного мінерального добрива у дозі $N_{90}P_{65}K_{100}$ у поєднанні з сучасними препаратами БлекДжек КС та Інтермаг Титан. Установлено, що метеорологічні умови періоду досліджень характеризувалися певною аномалією, проте накопичена сума активних температур була сприятливою для розвитку культури.

Науково обґрунтовано, що продуктивність міскантусу другого року вегетації значною мірою залежить від інтенсивності живлення, хоча біологічний потенціал рослин у цей період спрямований передусім на формування ризом та підземної біомаси. Згідно з результатами, максимальні показники виходу твердого біопалива на рівні 23,4 т/га та виходу енергії 37,25 ГДж/га зафіксовано за комбінованого застосування мінерального фону та препарату на основі гумінових речовин БлекДжек КС. Особливу увагу приділено якісним показникам біомаси: зольності, вмісту сухої речовини, целюлози та лігніну. Доведено, що застосування Інтермаг Титан на фоні мінеральних добрив сприяє достовірному зростанню вмісту целюлози до 41,0 %. Стабільна зольність на рівні 1,2 % підтверджує високу паливну якість отриманої сировини. Розраховано показники найменшої істотної різниці (HIP_{05}), що підтверджує статистичну значущість отриманих приростів врожайності та енергоефективності. Робота має практичне значення для агропромислових підприємств, що спеціалізуються на вирощуванні багаторічних енергетичних трав, оскільки пропонується технологія дозволяє суттєво інтенсифікувати виробництво відновлюваної енергії з одиниці площі насаджень.

Ключові слова: урожайність, міскантус гігантський, мінеральні добрива, малопроодуктивні землі, енергетична продуктивність, зольність біомаси, біопаливо.

¹ здобувач доктора філософії
(Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)
ORCID: 0009-0007-2536-0909

² кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри лісового і аграрного менеджменту
(Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)
ORCID: 0000-0002-5892-9483

PRODUCTIVITY AND BIOMASS QUALITY OF GIANT MISCANTHUS UNDER DIFFERENT FERTILIZATION SYSTEMS

T. I. Dmytrash, Ya. Ya. Hryhoriv

The article presents the results of complex field and laboratory studies regarding the influence of mineral nutrition systems and foliar application of biostimulants on the productivity and quality characteristics of giant miscanthus (*Miscanthus giganteus*) of the Osinnii Zoretsvit variety under the conditions of the Precarpathian region. The relevance of the work is due to the need to find effective technological solutions to increase the yield of bioenergy raw materials in the conditions of a shortage of traditional energy carriers and climate change. During the research of 2024–2025, the effect of complete mineral fertilizer at a dose of $N_{90}P_{65}K_{100}$ in combination with modern preparations BlackJak SC and InterMag Titan was analyzed. It was established that the meteorological conditions of the research period were characterized by a certain anomaly, but the accumulated sum of active temperatures was favorable for the development of the culture. It is scientifically substantiated that the productivity of miscanthus in the second year of vegetation largely depends on the intensity of nutrition, although the biological potential of plants in this period is primarily aimed at the formation of rhizomes and underground architecture. According to the results, the maximum indicators of solid biofuel yield at the level of 23.4 t/ha and energy yield of 37.25 GJ/ha were recorded under the combined use of a mineral background and a preparation based on humic substances BlackJak SC. Special attention is paid to the quality indicators of biomass: ash content, dry matter content, cellulose and lignin. It has been proven that the use of InterMag Titan against the background of mineral fertilizers contributes to a significant increase in cellulose content up to 41.0 %. The stable ash content at the level of 1.2 % confirms the high fuel quality of the obtained raw material. Indicators of the least significant difference (LSD_{05}) were calculated, which confirms the statistical significance of the obtained increases in yield and energy efficiency. The work has practical importance for agro-industrial enterprises specializing in the cultivation of perennial energy grasses, as the proposed technology allows to significantly intensify the production of renewable energy per unit area of plantations.

Key words: yield, giant miscanthus, mineral fertilizers, marginal lands, energy productivity, biomass ash content, biofuel.

Вступ

На сучасному етапі розвитку вітчизняного агросектору вирощування енергетичних культур виокремилася у стратегічно важливий сегмент біоенергетики, спрямований на декарбонізацію економіки та заміщення традиційного палива відновлюваними джерелами (Роїк і Ягольник, 2015). Орієнтація на фітоенергетичну сировину відповідає глобальним трендам, адже провідні економіки світу (США, ЄС, країни Азії) постійно нарощують обсяги енергоспоживання (Кузнецова, 2012). Згідно з науковими прогнозами, потенціал використання біомаси дозволяє покрити до третини світового попиту на енергію (Гелетуша та ін., 2011). У зв'язку з цим, пріоритетом української аграрної науки є розроблення та вдосконалення енергоефективних технологій культивування біоенергетичних рослин.

Глобальні тенденції розвитку людства супроводжуються загостренням енергетичної та екологічної криз, що диктує потребу в інтенсифікації впровадження відновлюваних джерел енергії (Shaikh et al., 2021). Для України, яка зберігає високий рівень імпортозалежності в енергетичному сек-

торі, питання переходу на ВДЕ є критичним, хоча їхня питома вага у структурі первинного енергопостачання залишається низькою близько 6,6 % (Hryhoriv et al., 2024; Hryhoriv et al., 2026). Зважаючи на високий агрокліматичний потенціал територій, біоенергетика виступає найбільш рентабельним сегментом галузі, проте поточний рівень енергоспоживання з біомаси все ще не перевищує 4,2 % (Zheliezna et al., 2018; Vozhehova et al., 2021; Vozhehova et al., 2022).

Сучасні виклики зумовляють необхідність інтенсифікації виробництва біопалива з рослинної сировини. В умовах обмеженості земельних ресурсів використання традиційних культур для енергетичних потреб стає малоефективним (Бузовський, 2007; Гелетуша та ін., 2014). Натомість високим біоенергетичним потенціалом в Україні характеризуються рослини з C4-типом фотосинтезу, зокрема міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*), який забезпечує значно вищий вихід біомаси з одиниці площі (Brosse et al., 2012; Jensen et al., 2012).

Культивування міскантусу можливе на землях, вилучених із активного сільсько-

господарського обігу. Проте збалансоване мінеральне живлення суттєво інтенсифікує ростові процеси та фізіолого-біохімічні реакції, що сприяє нарощуванню як вегетативної, так і кореневої маси. Оптимізація фотосинтетичної діяльності через внесення добрив є ключовим чинником підвищення врожайності біомаси. Враховуючи щорічний винос елементів живлення з урожаєм (Зінченко і Кусайло, 2006), застосування мінеральних добрив є необхідним елементом технології. При цьому дози та терміни їх внесення потребують регіональної адаптації з метою забезпечення високої окупності витрат, що залишається актуальним предметом наукових дискусій (Lewandowski et al., 2006).

Характерною особливістю *Miscanthus giganteus* є висока ефективність водоспоживання: транспіраційний коефіцієнт становить лише 250–300 одиниць, що суттєво нижче порівняно з більшістю традиційних польових культур. Водночас С4-тип фотосинтезу зумовлює підвищені вимоги до теплового режиму. Оптимальними для інтенсивної вегетації є температури у межах 28–30°C. Це обумовлює необхідність адаптації технології вирощування в умовах західного Лісостепу, де основні агротехнічні заходи мають бути сфокусовані на максимальній реалізації біопотенціалу рослин у пікові періоди їхньої активності (Lewandowski et al., 2006; Сінченко, 2017).

Згідно з рекомендаціями Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, базова система удобрення міскантусу передбачає внесення азоту в дозі 60–90 кг/га (у підживлення після появи сходів), а також фосфору 30–43 кг д. р./га), калію (120–150 кг д. р./га) та магнію (20–25 кг/га) під основний обробіток ґрунту (Сінченко, 2017). Питанням впливу різних рівнів живлення на продуктивність культури присвячені також праці Квака В. М. (Квак, 2012). Проте ці нормативи потребують диференційованого коригування залежно від конкретних ґрунтово-кліматичних умов та фактичного вмісту рухомих поживних речовин у ґрунті, що зумовлює необхідність проведення локальних агрохімічних досліджень.

Більшість сучасних вітчизняних досліджень зосереджена на оптимізації базових агротехнічних параметрів культивування міскантусу: структурі агрофітоценозів (густота насаджень, конфігурація міжрядь), термінах закладання плантацій, системах

основного удобрення та гербіцидному захисту. Водночас поза увагою дослідників часто залишаються питання спрямованого стимулювання ростових процесів в онтогенезі та застосування антистресових препаратів, що мінімізують негативний вплив довкілля та максимізують продуктивність посівів (Доронін та ін., 2018). У зв'язку з цим, актуальним є пошук інноваційних елементів технології, здатних підвищити адаптивний потенціал *Miscanthus giganteus* та забезпечити стабільно високу врожайність протягом тривалого періоду експлуатації енергетичних плантацій (Роїк та ін., 2019).

Матеріал та методи

Польові дослідження виконували протягом 2024–2025 рр. на базі дослідного полігону кафедри лісового та аграрного менеджменту Карпатського національного університету імені Василя Стефаника. Ґрунтовий покрив ділянки представлений дерново-підзолистим поверхнево оглеєним важкосуглинковим крупнопилуватим ґрунтом. За результатами агрохімічного аналізу, орний шар характеризувався низьким вмістом гумусу (1,76 % за Тюрнімом). Забезпеченість лужногідролізованим азотом (за Корнфільдом) становила 63,0 мг/кг ґрунту. Вміст рухомих форм фосфору та калію (за Мачигінім) складав відповідно 49 та 119 мг/кг. Фізико-хімічні показники свідчать про кислу реакцію середовища (pH_{KCl} 5,0) та гідролітичну кислотність на рівні 2,9 мг-екв./100 г ґрунту за суми поглинутих основ 12,4 мг-екв./100 г.

Програмою досліджень передбачено закладання двофакторного польового досліду. Загальна площа експериментального масиву становила 0,36 га за розміру посівної ділянки 50 м² та облікової – 30 м². Повторність варіантів у досліді – чотириразова. Об'єктом досліджень був міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*) сорт Осінній зорецвіт. Культуру вирощували на єдиному фоні мінерального живлення:

– контроль (без внесення добрив)+обробка водою;

– $N_{90}P_{65}K_{100}$;

– БЛЕК ДЖЕК КС;

– Інтермаг Титан;

– $N_{90}P_{65}K_{100}$ + БЛЕК ДЖЕК КС;

– $N_{90}P_{65}K_{100}$ + Інтермаг Титан.

Експериментальні дослідження проводили згідно із загальноприйнятими методами (Присяжнюк та ін., 2021; Ермантраут та ін., 2007; Роїк та ін., 2019). Система удобрення досліджуваних культур передбачала

використання суперфосфату (P_2O_5 – 32 %), KalPro40 (K_2O – 40 %) та аміачної селітри (N– 34,4 %). Згідно зі схемою експерименту, застосовували біостимулятор БлекДжек – висококонцентрований препарат на основі натурального леонардиту. На відміну від традиційних гуматів, даний антистресант містить повний спектр активних компонентів: гумінові, фульво- та ульмінові кислоти, а також гумін, що забезпечує комплексну дію на ґрунтове середовище та рослини.

Інтермаг Титан (Intermag Titan) – це високоєфективний концентрований препарат-біостимулятор на основі сполук титану, який широко застосовується в сільському господарстві для активізації життєвих сил рослин та підвищення їхньої врожайності.

Його головна відмінність від звичайних мікродобрив полягає в унікальній ролі титану як інтенсифікатора фізіологічних процесів: він значно прискорює запилення, стимулює фотосинтез та поглинання поживних речовин із ґрунту. Складається зі спеціально розробленої молекули титану, яка легко засвоюється рослинами, що дозволяє мінімізувати вплив несприятливих погодних умов та забезпечує максимальну реалізацію генетичного потенціалу культури.

Метеорологічний режим протягом 2024–2025 рр. відзначався певною варіабельністю та аномальністю щодо середньобаторічних значень температури повітря і кількості опадів. Попри температурні коливання, розраховані значення гідротермічного коефіцієнта (ГТК) вказували на достат-

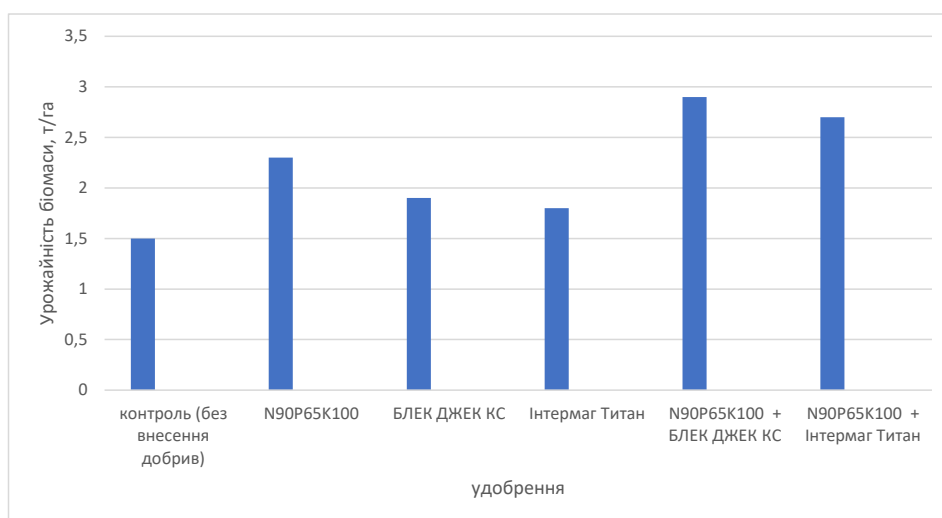
ній рівень зволоження протягом основних фаз вегетації. Сума активних температур ($T > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$), накопичена за цей період, повністю відповідала біологічним потребам міскантусу гігантеусу і сприяла його інтенсивному росту.

Результати

Досягнення рентабельного рівня врожайності сільськогосподарських культур залежить від комплексної оптимізації технологічних процесів та раціонального використання всього спектру агротехнічних ресурсів. Інтегрований підхід до поєднання різних елементів агротехніки дає змогу здійснювати спрямований контроль над морфофізіологічними процесами на ключових етапах органогенезу, а також ефективно регулювати темпи розвитку та терміни дозрівання рослин.

Результати польових експериментів підтвердили визначальний вплив системи мінерального живлення у поєднанні з позакореневим внесенням препаратів на формування врожайності сухої надземної (листяно-стеблової) міскантусу гігантеусу (рис. 1).

На основі отриманих даних встановлено, що застосування досліджуваних елементів технології суттєво вплинуло на накопичення сухої біомаси міскантусу другого року вегетації. Так, встановлено, що на варіанті без внесення добрив урожайність була мінімальною і становила 1,5 т/га. Така низька продуктивність на початкових етапах зумовлена фізіологічними особливостями культури, яка в перші два роки спрямовує



$HP_{05}=0,41$

Рис. 1. Продуктивність сухої фітомаси міскантусу гігантеусу залежно від рівнів мінерального живлення та позакореневого підживлення, т/га (2024–2025 рр.)

основні ресурси на формування потужної кореневої системи та ризом.

Внесення лише мінерального комплексу дозою $N_{90}P_{65}K_{100}$ дозволило підвищити врожайність до 2,3 т/га, що підтверджує чутливість культури до азотно-калійного живлення на дерново-підзолистих ґрунтах.

Згідно з даними рис. 1, найбільшу ефективність у формуванні сухої фітомаси міскантусу гігантського продемонстрував варіант із поєднанням повного мінерального удобрення $N_{90}P_{65}K_{100}$ та позакореневого підживлення препаратом БлекДжек, що забезпечило врожайність на рівні 2,9 т/га. Це перевищує показники контролю майже вдвічі. Даний результат є статистично достовірним відносно контролю та варіантів із роздільним застосуванням препаратів, оскільки отримані прирости суттєво перевищують показник найменшої істотної різниці ($HIP_{05} = 0,41$ т/га).

Слід зазначити, що загалом продуктивність міскантусу другого року вегетації була невисокою. На нашу думку, це зумовлено біологічною спрямованістю розвитку рослин у цей період на активне формування підземної архітекτονіки – ризом та кореневої системи. Незважаючи на те, що в перший рік позакореневе підживлення часто має лише тенденційний характер через пізні строки садіння та обмежений час експозиції препаратів, на другий рік вегетації поєднання ґрунтового живлення та листової стимуляції стає визначальним фактором росту.

Найвищий у досліді вихід твердого біопалива зафіксовано у варіанті комплексного застосування мінеральних добрив $N_{90}P_{65}K_{100}$ та позакореневого підживлення препаратом БлекДжек, що забезпечило – 23,4 т/га проти 13,1 т/га на контролі (Табл. 1).

Аналіз енергетичного потенціалу міскантусу гігантського підтверджує доцільність поєднання ґрунтового та позакореневого живлення. Встановлено, що інтегроване застосування мінеральних добрив у дозі

$N_{90}P_{65}K_{100}$ разом із біостимулятором БлекДжек КС забезпечує максимальний вихід твердого біопалива на рівні 23,4 т/га, що на 10,3 т/га більше за контроль.

Особливої уваги заслуговує динаміка виходу енергії: за використання препарату Інтермаг Титан на фоні мінеральних добрив вихід енергії склав 357,5 ГДж/га, що у 2,2 рази перевищує контроль. Найвищий показник енергетичної продуктивності (372,5 ГДж/га) досягнуто за поєднання мінерального фону з БлекДжек КС. Статистична обробка даних (HIP_{05}) підтверджує високу достовірність отриманих результатів, оскільки фактичні прирости за всіма варіантами суттєво перевищують поріг похибки.

Окрім продуктивності агрофітоценозів міскантусу гігантського, вагому роль відіграють якісні характеристики отриманої сировини. Параметри якості біопалива безпосередньо корелюють із комплексом агротехнічних заходів, застосованих у процесі вегетації. Детальна характеристика сухої біомаси *Miscanthus giganteus* у розрізі варіантів дослідів представлена в таблиці 2.

Таблиця 1
Продуктивність міскантусу гігантського залежно від систем удобрення та позакореневого підживлення (середнє за 2024–2025 рр.)

Варіант	Вихід твердого біопалива, т/га	Вихід енергії, ГДж/га
контроль (без внесення добрив)	13,1	16,25
$N_{90}P_{65}K_{100}$	22,6	23,25
БЛЕК ДЖЕК КС	22,0	21,50
Інтермаг Титан	21,7	30,25
$N_{90}P_{65}K_{100}$ + БЛЕК ДЖЕК КС	23,4	37,25
$N_{90}P_{65}K_{100}$ + Інтермаг Титан	23,0	35,75
HIP_{05}	0,1	1,1

Таблиця 2
Якісні показники сухої фітомаси міскантусу гігантського сорту «Осінній зорецвіт» третього року вегетації за різних схем вирощування (2025 р.)

Варіант	Уміст, %			
	сухої речовини	целюлози	лігніну	золи
контроль (без внесення добрив)	48,5	39,6	10,0	1,2
$N_{90}P_{65}K_{100}$	49,3	39,9	10,1	1,2
БЛЕК ДЖЕК КС	49,1	39,9	9,8	1,2
Інтермаг Титан	49,0	40,0	10,2	1,2
$N_{90}P_{65}K_{100}$ + БЛЕК ДЖЕК КС	49,2	40,3	10,4	1,2
$N_{90}P_{65}K_{100}$ + Інтермаг Титан	49,0	41,0	10,3	1,2
HIP_{05}	1,9	0,4	0,1	0,2

Результати аналізу хімічного складу біомаси міскантусу гігантського сорту Осінній зорецвіт засвідчили стабільність якісних характеристик при застосуванні різних елементів технології (табл. 2). Встановлено, що вміст целюлози, яка є ключовим енергетичним компонентом, мав тенденцію до зростання за використання комплексних систем живлення, досягаючи максимуму (41,0 %) у варіанті $N_{90}P_{65}K_{100}$ + Інтермаг Титан.

Показник зольності в усіх варіантах становив 1,2 %, що відповідає найвищим стандартам якості для твердого біопалива. Варіабельність вмісту сухої речовини в межах 48,5–49,3 % та лігніну в межах 9,8–10,4 % підтверджує, що застосування біостимуляторів Блек Джек КС та Інтермаг Титан сприяє формуванню якісної сировини без суттєвого відхилення від біологічних норм культури. Більшість виявлених змін за вмістом целюлози та лігніну є математично достовірними, оскільки перевищують поріг HP_{05} .

Обговорення

Отримані результати підтверджують важливу роль мінерального живлення у формуванні продуктивності міскантусу гігантського. Низька врожайність на контролі (1,5 т/га) пояснюється біологічними особливостями культури, яка в перші роки вегетації формує кореневу систему та ризоми.

Застосування мінеральних добрив ($N_{90}P_{65}K_{100}$) підвищило врожайність до 2,3 т/га, що свідчить про високу чутливість культури до удобрення. Найкращі результати (2,9 т/га) отримано за поєднання мінераль-

ного живлення з позакореневим підживленням препаратом БлекДжек КС, що підтверджує ефективність інтегрованого підходу.

Аналогічна тенденція спостерігалась щодо виходу біопалива та енергії, які значно зростали за комплексного застосування добрив і біостимуляторів. Водночас якісні показники біомаси залишалися стабільними, з незначним підвищенням вмісту целюлози.

Отже, поєднання мінерального удобрення та позакореневого підживлення є ефективним прийомом підвищення врожайності та енергетичної продуктивності міскантусу гігантського.

Висновки

На основі проведених досліджень встановлено, що інтенсифікація технології вирощування міскантусу гігантського сорту Осінній зорецвіт шляхом поєднання мінерального удобрення та позакореневого підживлення є високоефективним заходом для підвищення енергетичної продуктивності культури. Максимальний вихід твердого біопалива (23,4 т/га) та найвищий енергетичний вихід (37,25 ГДж/га) забезпечує варіант комбінованого застосування мінеральних добрив у дозі $N_{90}P_{65}K_{100}$ та біостимулятора Блек Джек КС. Це свідчить про синергійний ефект взаємодії ґрунтового живлення та фізіологічно активних речовин.

Застосування досліджуваних препаратів не призводить до погіршення технологічних властивостей сировини. Зольність біомаси залишається стабільно низькою (1,2 %), що відповідає вимогам до преміальних сортів твердого палива.

Список використаної літератури

- Бузовський Є. А. Нетрадиційні поновлювальні джерела енергії : навчально-методичний посібник. Київ : ННІ ПО НАУ, 2007. 21 с.
- Гелетука Г. Г., Железна Т. А., Трибой О. В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. *Аналітична записка БАУ*. 2014. № 10. 33 с.
- Гелетука Г. Г., Жовмір М. М., Олійник Є. М., Радченко С. В. Біомаса як паливна сировина. *Промислова теплотехніка*. 2011. Т. 55, № 5. С. 79–87.
- Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Дрига В. В., Доронін В. В. Формування садивного матеріалу міскантусу в другому році вегетації залежно від елементів технології її вирощування. *Біоенергетика*. 2018. № 2. С. 28–31. <https://doi.org/10.47414/be.2.2018.229253>.
- Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. А. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.
- Зінченко В. О., Кусайло В. П. Біогеліоенергія – наше енергетичне майбутнє. *Пропозиція*. 2006. № 8. С. 130–132.
- Квак В. М. Ріст, розвиток і продуктивність міскантусу за різних норм добрив. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2012. Вип. 14. С. 548–551.
- Кузнецова А. Виробництво пелет в Україні: Прибутковий варіант сталого розвитку? Київ, 2012. 23 с.

- Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень у сільському господарстві та харчових технологіях. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с.
- Роїк М. В., Сінченко В. М., Пиркін В. І. та ін. Міскантус в Україні. Київ : ФОП Ямчинський О. В., 2019. 256 с.
- Роїк М. В., Ягольник О. Г. Агропромислові енергетичні плантації – майбутнє України. *Біоенергетика*. 2015. № 2. С. 4–5.
- Сінченко В. М. Міскантус – перспективна біоенергетична культура. *Біоенергетика*. 2017. № 2. С. 15–19.
- Brosse N., Dufour A., Meng X. et al. Miscanthus: a fast-growing crops for biofuels and chemicals production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2012. Vol. 6, Iss. 5. P. 580–598. doi: 10.1002/bbb.1353.
- Hryhoriv Y., Butenko Y., Kabanets V. et al. Prospectives of growing energy crops for the production of different types of biofuel. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2024. Vol. 25, № 5. P. 191–197. <https://doi.org/10.12912/27197050/185710>.
- Hryhoriv Y., Dmytrash T., Butenko A. et al. Efficiency of mineral fertilizers and biostimulant application in increasing the bioenergy potential of energy crops on low-productivity lands under the conditions of the western Forest-Steppe of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2026. Vol. 27, № 2. P. 417–423. <https://doi.org/10.12912/27197050/217562>.
- Jensen E., Robson P., Norris J. et al. Flowering induction in the bioenergy grass *Miscanthus sacchariflorus* is a quantitative short-day response, whilst delayed flowering under long days increases biomass accumulation. *Journal of Experimental Botany*. 2012. Vol. 64, № 2. P. 541–552. doi: 10.1093/jxb/ers346.
- Lewandowski I., Scurlock J. M., Lindvall E., Christou M. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy*. 2006. Vol. 25, № 4. P. 335–361. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00030-8](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00030-8).
- Shaikh T. A., Soomro A. A., Laghari G. M. et al. Impact of integrated row spacing, fertilizer application methods and sowing dates on bioethanol production in sorghum. *Pakistan Journal of Botany*. 2021. № 53(3). P. 1007–1013. [https://doi.org/10.30848/PJB2021-3\(1\)](https://doi.org/10.30848/PJB2021-3(1)).
- Vozhehova R. A., Lavrynenko Yu. O., Marchenko T. Yu. et al. Promising crops for bioenergy in Ukraine. *Agrarian Innovations*. 2022. № 11. С. 5–15. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.1>.
- Vozhehova R., Marchenko T., Piliarska O., Lavrynenko Y., Halchenko N., Lykhovyd P. Grain corn product yield and gross value depending on the hybrids and application of biopreparations in the irrigated conditions. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2021. № 21(4). P. 611–619.
- Zheliezna T. A., Drahnev S. V., Bashtovyi A. I., Rohovskyi I. L. Prospects for the production and consumption of second-generation biofuels in Ukraine. *Machinery & Energetics*. 2018. № 9(2). С. 61–66. <https://doi.org/10.31548/machenergy.2018.02.061-066>

References

- Buzovskyi, Ye. A. (2007). *Netradytsiini ponovliuvalni dzherela enerhii: navchalno-metodychnyi posibnyk* [Unconventional renewable energy sources: study guide]. Kyiv: NNI PO NAU [in Ukrainian].
- Heletukha, H. H., Zheliezna, T. A., & Tryboi, O. V. (2014). *Perspektyvy vyroshchuvannia ta vykorystannia enerhetychnykh kultur v Ukraini* [Prospects for cultivation and use of energy crops in Ukraine]. *Analitichna zapyska BAU [Analytical note of BAU]*, 10 [in Ukrainian].
- Heletukha, H. H., Zhovmir, M. M., Oliinyk, Ye. M., & Radchenko, S. V. (2011). *Biomasa yak palyvna syrovyna* [Biomass as a fuel raw material]. *Promyslova teplotekhnika [Industrial Heat Engineering]*, 55(5), 79–87 [in Ukrainian].
- Doronin, V. A., Kravchenko, Yu. A., Dryha, V. V., & Doronin, V. V. (2018). *Formuvannia sadyvnoho materialu miskantusu v druhomu rotsi vehetatsii zalezno vid elementiv tekhnolohii yii vyroshchuvannia* [Formation of miscanthus planting material in the second year of vegetation depending on the elements of its cultivation technology]. *Bioenergetyka [Bioenergetics]*, 2, 28–31. <https://doi.org/10.47414/be.2.2018.229253> [in Ukrainian].
- Ermantaut, E. R., Prisyazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statystychnyi analiz ahronomichnykh doslidnykh danykh v paketi Statistica 6.0* [Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 6.0 package]. Kyiv: PolihrafKonsaltnh [in Ukrainian].

- Zinchenko, V. O., & Kusailo, V. P. (2006). Biohelioenerhiia – nashe enerhetychne maibutnie [Bio-solar energy – our energy future]. *Propozytsiia [Proposition]*, 8, 130–132 [in Ukrainian].
- Kvak, V. M. (2012). Rist, rozvytok i produktyvnist miskantusu za riznykh norm dobryv [Growth, development and productivity of miscanthus at different fertilizer rates]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv [Scientific papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet]*, 14, 548–551 [in Ukrainian].
- Kuznetsova, A. (2012). Vyrobnystvo pelet v Ukraini: Prybutkovyi variant staloho rozvytku? [Pellet production in Ukraine: A profitable option for sustainable development?]. Kyiv [in Ukrainian].
- Prysiashniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V. et al. (2021). Metodolohiia i orhanizatsiia naukovykh doslidzhen u silskomu hospodarstvi ta kharchovykh tekhnolohiiakh [Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies]. Kyiv: Nilan-LTD [in Ukrainian].
- Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Pyrkin, V. I. et al. (2019). Miskantus v Ukraini [Miscanthus in Ukraine]. Kyiv: FOP Yamchynskiy O. V. [in Ukrainian].
- Roik, M. V., & Yaholnyk, O. H. (2015). Ahropromyslovi enerhetychni plantatsii – maibutnie Ukrainy [Agro-industrial energy plantations – the future of Ukraine]. *Bioenergetyka [Bioenergetics]*, 2, 4–5 [in Ukrainian].
- Sinchenko, V. M. (2017). Miskantus – perspektyvna bioenerhetychna kultura [Miscanthus is a promising bioenergy crop]. *Bioenergetyka [Bioenergetics]*, 2, 15–19 [in Ukrainian].
- Brosse, N., Dufour, A., Meng, X. et al. (2012). Miscanthus: a fast-growing crops for biofuels and chemicals production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6(5), 580–598. <https://doi.org/10.1002/bbb.1353> [in English].
- Hryhoriv, Y., Butenko, Y., Kabanets, V. et al. (2024). Prospectives of growing energy crops for the production of different types of biofuel. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 25(5), 191–197. <https://doi.org/10.12912/27197050/185710> [in English].
- Hryhoriv, Y., Dmytrash, T., Butenko, A. et al. (2026). Efficiency of mineral fertilizers and biostimulant application in increasing the bioenergy potential of energy crops on low-productivity lands under the conditions of the western Forest-Steppe of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 27(2), 417–423. <https://doi.org/10.12912/27197050/217562> [in English].
- Jensen, E., Robson, P., Norris, J. et al. (2012). Flowering induction in the bioenergy grass *Miscanthus sacchariflorus* is a quantitative short-day response, whilst delayed flowering under long days increases biomass accumulation. *Journal of Experimental Botany*, 64(2), 541–552. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers346> [in English].
- Lewandowski, I., Scurlock, J. M., Lindvall, E., & Christou, M. (2006). The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy*, 25(4), 335–361. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00030-8](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00030-8) [in English].
- Shaikh, T. A., Soomro, A. A., Laghari, G. M. et al. (2021). Impact of integrated row spacing, fertilizer application methods and sowing dates on bioethanol production in sorghum. *Pakistan Journal of Botany*, 53(3), 1007–1013. [https://doi.org/10.30848/PJB2021-3\(1\)](https://doi.org/10.30848/PJB2021-3(1)) [in English].
- Vozhehova, R. A., Lavrynenko, Yu. O., Marchenko, T. Yu. et al. (2022). Promising crops for bioenergy in Ukraine. *Ahrarni innovatsii [Agrarian Innovations]*, 11, 5–15. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.1> [in Ukrainian].
- Vozhehova, R., Marchenko, T., Piliarska, O., Lavrynenko, Y., Halchenko, N., & Lykhovyd, P. (2021). Grain corn product yield and gross value depending on the hybrids and application of biopreparations in the irrigated conditions. Scientific Papers Series Management, *Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 21(4), 611–619 [in English].
- Zheliezna, T. A., Drahnev, S. V., Bashtovyi, A. I., & Rohovskyi, I. L. (2018). Prospects for the production and consumption of second-generation biofuels in Ukraine. *Machinery & Energetics*, 9(2), 61–66. <https://doi.org/10.31548/machenergy.2018.02.061-066> [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 24.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 16
Український журнал природничих наук
№ 16

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 633.15:631.582:632.954

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.19>

УРОЖАЙНІСТЬ ЗЕРНА ТА БІОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ РІЗНИХ ГРУП ФАО ЗА БЕЗЗМІННИХ ПОСІВІВ ТА СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ВІД СЕГЕТАЛЬНОЇ РОСЛИННОСТІ

А. О. Донець¹, Т. Ю. Марченко², О. О. Пілярська³, С. В. Міщенко⁴,
Ю. О. Лавриненко⁵

Мета досліджень – встановити морфометричні показники гібридів кукурудзи різних груп ФАО та їх зв'язок урожайністю зерна за різних систем захисту від сегетальної рослинності в беззмінних п'ятирічних посівах. Полеві дослідження проведені в Інституті кліматично орієнтованого сільського господарства НААН в агроекологічній зоні Південного Степу України (2021–2025 рр., 46°38'24" півн. шир. 32°36'52" схід. довг.). В дослідженнях використовували інноваційні гібриди

¹ кандидат сільськогосподарських наук,
докторант

(Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, смт Хлібодарське)
e-mail: tmarchenko74@ukr.net
ORCID: 0009-0004-0338-5302

² доктор сільськогосподарських наук, професор

завідувачка відділу селекції сільськогосподарських культур

(Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, смт Хлібодарське)
e-mail: tmarchenko74@ukr.net
ORCID: 0000-0001-6994-3443

³ кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник,

завідувач відділу маркетингу та міжнародної діяльності

(Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, смт Хлібодарське)
e-mail: izz.biblio@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8649-0618

⁴ доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник,

доцент кафедри біології, здоров'я людини та методики навчання

(Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка, м. Глухів);

головний науковий співробітник відділу селекції та насінництва конопель

(Інститут луб'яних культур НААН, м. Глухів)

e-mail: serhii-mishchenko@ukr.net

ORCID: 0000-0002-1979-4002

⁵ доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН,

головний науковий співробітник відділу селекції сільськогосподарських культур

(Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, смт Хлібодарське)

e-mail: lavrin52@ukr.net

ORCID: 0000-0001-9442-8793

української селекції (FAO 190–430), що занесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Дослідження проводились за краплинного поверхневого зрошення з рівнем передполивної вологості ґрунту в шарі 0–50 см 75% НВ. Для захисту рослин від сегеталів використовували гербіциди Фронт'єр® Оптіма та Майстер® Пауер. На п'ятому році беззмінних посівів без використання гербіцидів висота рослин, у середньому за гібридами, зменшилась з 256,0 до 220,0 см. Найбільше реагували на забур'яненість пізньостиглі гібриди Тронка та Арабат (FAO 380 та 430). Висота рослин у них зменшилась на п'ятий рік беззмінних посівів на 40 та 52 см відповідно, що вказує на сильний негативний вплив сегетальних рослин. Скоростиглі гібриди Степовий та Хотин менше реагували на забур'яненість у зв'язку з меншою тривалістю періоду вегетації, що зменшило термін відродження ґрунтових запасів сегеталів. Найменша різниця за висотою рослин гібридів кукурудзи на першому та п'ятому році беззмінних посівів спостерігалась за використання сумісної дії ґрунтового та страхового гербіцидів, що дозволяє оптимізувати ростові процеси гібридів кукурудзи за такої системи захисту від сегетальних рослин. Урожайність зерна досліджуваних гібридів за п'ятирічний термін беззмінних посівів та різних систем захисту від сегеталів позитивно корелює з висотою рослин. Найбільші коефіцієнти кореляції були зафіксовані у гібридів з подовженою тривалістю вегетації та більшою потенційною урожайністю – Тронка та Арабат ($r = 0,87$ та $0,89$ відповідно), що вказує на можливість попереднього прогнозування урожайності зерна гібридів за параметрами висоти рослин та розташування продуктивного качана. Подвійна система захисту гібридів кукурудзи від сегеталів з застосуванням ґрунтових та страхових гербіцидів за беззмінних посівів забезпечує збереженість вихідних оптимальних біометричних параметрів генотипу та їх позитивний зв'язок з урожайністю зерна.

Ключові слова: кукурудза, морфометрія, сегетали, гібриди, гербіциди, захист рослин, урожайність, зерно.

GRAIN YIELD AND BIOMETRIC INDICATORS OF MAIZE HYBRIDS OF DIFFERENT FAO GROUPS UNDER CONSTANT CROPPING AND PROTECTION SYSTEMS AGAINST SEGETAL VEGETATION

A. O. Donets, T. Yu. Marchenko, O. O. Pilyarska, S. V. Mishchenko,
Y. O. Lavrynenko

The purpose of the research is to establish morphometric indicators of maize hybrids of different FAO groups and their relationship with grain yield under different systems of protection against segetal vegetation in constant five-year crops. Field experiments were conducted at the Institute of Climate-Oriented Agriculture of the National Academy of Sciences of Ukraine in the agroecological zone of the Southern Steppe of Ukraine. Field studies were conducted at the Institute of Climate-Oriented Agriculture of the National Academy of Sciences of Ukraine in the agroecological zone of the Southern Steppe of Ukraine (2021–2025, 46°38'24" N lat. 32°36'52" E long.). The studies used innovative hybrids of Ukrainian selection (FAO 190-430), which are included in the State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine. The studies were conducted under drip surface irrigation with a pre-irrigation soil moisture level in the 0–50 cm layer of 75% RH. To protect plants from segetals, the herbicides Frontier® Optima and Meister® Power were used. In the fifth year of continuous crops without the use of herbicides, the plant height, on average across hybrids, decreased from 256.0 to 220.0 cm. The late-ripening hybrids Tronka and Arabat (FAO 380 and 430) responded most to weeding. Their plant height decreased by 40 and 52 cm, respectively, in the fifth year of continuous crops, indicating a corresponding negative impact of segetal plants. The early-ripening hybrids Stepovy and Khotyn responded less to weeding due to the shorter duration of the growing season, which reduced the period of regeneration of soil segetal reserves. The smallest difference in plant height of maize hybrids in the first and fifth year of permanent crops was observed when using the combined action of soil and insurance herbicides, which allows optimizing the growth processes of maize hybrids with such a system of protection against segetal plants. The grain yield of the studied hybrids over a five-year period of permanent crops and various systems of protection against segetals is positively correlated with plant height. The highest correlation coefficients were recorded in hybrids with an extended vegetation period and higher potential yield – Tronka and Arabat ($r = 0.87$ and 0.89 , respectively), which indicates the possibility of preliminary forecasting of grain yield of hybrids by the parameters of plant height and the location of the productive ear. A dual system of protection of maize hybrids from segetals with the use of soil and insurance herbicides in constant crops ensures the preservation of the initial optimal biometric parameters of the genotype and their positive relationship with grain yield.

Key words: maize, morphometry, segetals, hybrids, herbicides, plant protection, yield, grain.

Вступ

У світовому та національному масштабах упродовж 2000–2023 років встановлено стійке зростання площ вирощування та урожайності кукурудзи в більшості регіонів світу, зокрема

в країнах Америки, Азії, Африки. Найвищу частку у структурі світового виробництва забезпечують США, Китай, Європейський Союз, Бразилія. Водночас Україна має одні з найвищих темпів зростання врожайності серед провідних країн-виробників, що свідчить про перехід від екстенсивної до інтенсивної системи землеробства. За аналізований період урожайність зерна кукурудзи в Україні зросла з 3,0 до 7,8 т/га, що зумовлено впровадженням інтенсивних технологій вирощування, оновленням гібридного складу, підвищенням рівня агротехнічного забезпечення та адаптацією інноваційних генотипів до гідротермічних умов (Сидякіна і Гамула, 2025).

Одним із важливих елементів технології, що визначає розкриття потенціалу продуктивності агрокультур, є система захисту посівів від бур'янових синузій. На фоні зростаючих кліматичних ризиків та посиленні потреб щодо прибутковості виробництва, виникає необхідність в удосконаленні агротехнічних заходів, що забезпечують ефективну реалізацію захисту посівів від комплексу сегетальних рослин. За останні два десятиліття в аграрному секторі спостерігається посилення забур'яненості посівів, при цьому потенційна засміченість орного шару чорноземів насінням та вегетативними органами розмноження нерідко перевищує 500 млн шт./га. Головними причинами негативної тенденції є порушення науково обґрунтованого чергування культур у сівоzmінах, радикальна мінімізація технологічних процесів без урахування факторів ризику (Іващенко, 2001; Іващенко та ін., 2018).

У сучасному землеробстві забур'яненість посівів залишається одним із ключових чинників, що істотно стримують реалізацію генетичного потенціалу врожайності польових культур. З огляду на зростання вартості ресурсів та необхідність підвищення ефективності виробництва, питання контролю бур'янів набуває особливої актуальності. Це питання загострюється передусім поєднанням екстремальних кліматичних чинників, нестабільного водного режиму та специфіки агротехнічних заходів, що формують сприятливі умови для активного росту й поширення великого спектру бур'янових видів (Грицюк та ін., 2022; Циліурік та ін., 2020).

Тривожна тенденція була актуалізована науковцями Інституту фізіології рослин і генетики НАН України, що встановили поширеність популяцій бур'янів резистентних до гербіцидів. Найпоширенішими

є біотиби сегеталів з резистентністю до ацетолататсинтази (АЛС), що входить до більшості сучасних гербіцидів таких класів, як сульфонілсечовини, імідазолінони, піримідиніл-бензоати тощо. Вже виявлено 498 біотипів бур'янів, що резистентні до гербіцидів і перелік їх поширюється, що значно ускладнює тривалу ефективну боротьбу з сегетальною рослинністю (Гуральчук і Мордерер, 2015; Гуральчук і Мордерер, 2019).

Дослідженнями науковців встановлено, що впродовж терміну з 2005 по 2024 рр. середньорічна температура повітря підвищувалася на 0,9–1,2 °С, що призвело до подовження тривалості вегетаційного періоду в Західному Лісостепу. Тенденції до змін клімату можуть створювати сприятливі умови для поширення інвазійних видів, зокрема *Heracleum sosnowskyi* Manden. (борщівник Сосновського), *Impatiens glandulifera* Royle (розрив-трава залозиста), *Ambrosia artemisiifolia* L. (амброзія полинолиста), *Solidago canadensis* L. (золотарник канадський). Встановлено тісний зв'язок між зміною клімату й поширенням чужорідних видів сегетальних рослин (Shuvar et al., 2025).

В степовій зоні, на основі багаторічних стаціонарних дослідів, з'ясовано особливості трансформації видового складу бур'янової рослинності. Встановлено, що високою регуляторною здатністю відносно ботанічного складу сегетальної рослинності відзначаються гербіциди, структура сівоzmін, фітоценотична щільність агрокультур. Важливим етапом новітнього розвитку землеробства є використання новітніх гербіцидів, підвищення їхньої фітотоксичної дії до 90–97 %. В сучасних умовах найбільшої шкодочинності набули такі бур'яни, як амброзія полинолиста, куряче просо, щиріця звичайна. Актуалізоване питання про необхідність постійного корегування фітотоксичного спектра гербіцидів в агровиробництві (Шевченко та ін., 2019; Качмар та ін., 2023).

Дослідженнями доведено, що види сегетальної рослинності, зокрема й інвазійні, мають підвищену спроможність до генеративного та вегетативного розмноження, що дає їм змогу швидко колонізувати аграрні екосистеми. Завдяки інтенсивному репродуктивному потенціалу вони здатні ефективно адаптуватися до змінених умов середовища, формуючи щільні монодомінантні популяції, що вимагає розробки стратегій їх стримування в агроладшафтах (Dvirna, 2015; Sharma et al., 2022; Kumar & Singh, 2020).

Проблема відшкодування втрат аграр-

ного сектора від бур'янів постійно турбує виробництво і науковців, що присвячують свої дослідження удосконаленню заходів захисту культурних рослин. Посилення забур'яненості посівів в сучасних умовах потребує застосування ефективних гербіцидів в агро-технологіях (Циков і Матюха, 2006; Судак та ін., 2018).

Внаслідок значного адаптивного потенціалу сегетальних рослин щодо агроєкологічних умов, високого рівня конкурентоздатності, великої кількості репродуктивного насіння, бур'яни в агроценозах активно домінують за світло, вологу й поживні речовини над культурними рослинами (Chantre & Gonzalez-Andujar, 2020).

Інтенсивність росту рослин кукурудзи є важливим показником продуктивності посіву і залежить від низки факторів, ключовим елементом якого є зменшення конкуренції з боку бур'янистої рослинності (Коробко та ін., 2025).

Біометричні параметри гібридів кукурудзи мають важливе значення в формуванні структури продуктивності. Висота рослин гібридів кукурудзи є важливим показником групи стиглості, розвитку фотосинтетичних показників, стійкості до посушливості, адаптивних параметрів генотипу (Гадзало та ін., 2024; Паламарчук і Коваленко, 2018; Гангур і Руденко, 2023; Аверчев та ін., 2020).

Висота закладення продуктивного качана також є важливою ознакою, що характеризує придатність до комбайнового збирання урожаю та відображає відповідність технології вирощування, системи захисту рослин до потенційних можливостей гібрида (Паламарчук, 2018).

Біометричні показники рослин гібридів кукурудзи мають високу залежність від конкурентних впливів сегетальних рослин в посівах, що потребує розробки відповідної системи захисту. Особливої актуальності набуває система захисту рослин від шкідливих організмів за умов беззмінних посівів кукурудзи (continuous maize cultivation), що поширюється на виробництві завдяки високій прибутковості цієї культури (Skrypchenko et al., 2020; Donets et al., 2025; Donets et al., 2026).

Мета досліджень – встановити морфометричні показники гібридів кукурудзи різних груп ФАО та їх зв'язок з урожайністю зерна за різних систем захисту від сегетальної рослинності в беззмінних п'ятирічних посівах.

Матеріал і методи

Польові дослідження проведені в Інституті

кліматично орієнтованого сільського господарства НААН (2021–2025 рр., м. Херсон, 46°38'24" півн. шир. 32°36'52" схід. довг.). В дослідженнях використовували інноваційні гібриди української селекції, що занесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні: Степовий (ФАО 190), Хотин (ФАО 250), Тронка (ФАО 380), Арабат (ФАО 430). Дослідження проводились за краплинного поверхневого зрошення з рівнем передполивної вологості ґрунту в шарі 0–50 см 75% НВ.

Польові досліді закладали та проводили обробку даних відповідності загальноприйнятими в агрономічних дослідженнях методичними рекомендаціями Ушкаренка В. О., Вожегової Р.А. зі співавторами (Ушкаренко та ін., 2014; Вожегова та ін., 2014).

Забур'яненість посівів визначали кількісним методом, шляхом накладання облікової рамки розміром 70 x 70 см в міжряддя в десятиразовому повторенні. Розрахунки технічної ефективності гербіцидів проводили за методикою С. О. Трибеля зі співавторами (Трибель та ін., 2021) та Є. М. Лебідь зі співавторами (Лебідь та ін., 2008). Економічні пороги шкодочинності бур'янів та визначення ступеня забур'яненості посівів аналізували за Методичними рекомендаціями Р. Вожегової, С. Зайця, О. Рудіка зі співавторами (Вожегова та ін., 2025).

Використовували гербіциди: Фронт'єр® Оптіма – діюча речовина – диметенамід-П; Майстер® Пауер – діюча речовина: форамсульфурон, йодоссульфурон, тієнкарбазон-метил, ципросульфамід (Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів дозволенних до використання в Україні).

Технологія вирощування кукурудзи була загально визнана, крім варіантів, що вивчалися (Вожегова та ін., 2024).

Результати та їх обговорення

За беззмінних посівів кукурудзи протягом п'яти років без застосування засобів боротьби з сегетальною рослинністю було встановлено різке зростання забур'яненості кожного наступного року (табл. 1).

Без застосування гербіцидів кількість бур'янів у фазу розвитку ВВСН 83-87 зростає з 23,3 рослин на 1 м² на першому році, до 70,3 рослин на 1 м² на п'ятому році беззмінних посівів на гібридах з ФАО 190-250. На посівах пізньостиглих гібридів (ФАО 380-430) забур'яненість зростає за п'ятирічний термін з 22,9 сегеталів на 1 м² до 80,6 рослин. Така кількість сегетальних рослин, згідно шкали визначення ступеня забур'яненості,

відповідає показнику «сильний», що негативно впливає на стан посівів. Пізньостиглі гібриди мали більшу забур'яненість в наслідок більшої тривалості періоду вегетації та сприятливими умовами за вологістю ґрунту для проростання ґрунтових запасів насіння та кореневих паростків. Застосування гербіцидів значно зменшило кількість сегетальних рослин, особливо високу ефективність показала сумісна дія ґрунтового та страхового гербіцидів (Фронт'єр® Оптіма та МайсТер® Пауер). На п'ятому році беззмінних посівів забур'яненість за такої технології відповідала показнику «дуже слабка».

Серед бур'янів найбільшого поширення набули *Amaranthus retroflexus* L. (щиріця звичайна), *Descurainia sophia* L. (кучерявець Софії), *Chenopodium album* L. (лобода біла), *Echinochloa crus-galli* L. (плоскуха звичайна). Попри високу ефективність гербіцидів, не вдається подолати повністю забур'яненість умовно карантинних інвазійних видів. Сумісною дією ґрунтового та страхового гербіцидів вдалось знешкодити в фітоценозі *Cyrlachaeana xanthifolia* Fres. (чорноцир нетреболистий), проте *Ambrosia artemisifolia* L. (амброзія полинолиста) залишалась в фітоценозі кукурудзи в обмеженій кількості (0,1–0,2 рослини / 1 м²) при застосуванні ґрунтових та страхових гербіцидів роздільно.

Висота рослин гібридів кукурудзи є певним маркером щодо оптимізації захисту рослин. Конкурентний вплив сегетальної рослинності негативно позначився на висоті гібридів (табл. 2).

На п'ятому році беззмінних посівів без використання гербіцидів висота рослин, у середньому за гібридами, зменшилась з 256,0 до 220,0 см. Найбільше реагували на забур'яненість пізньостиглі гібриди Тронка

та Арабат (ФАО 380 та 430). Висота рослин у них зменшилась на п'ятий рік беззмінних посівів на 40 та 52 см відповідно, що вказує на відповідний негативний вплив сегетальних рослин. Скоростиглі гібриди Степовий та Хотин менше реагували на забур'яненість у зв'язку з меншою тривалістю періоду вегетації, що зменшило термін відродження ґрунтових запасів сегеталів.

Застосування ґрунтового гербіциду Фронт'єр® Оптіма суттєво зменшило різницю за висотою рослин на першому та п'ятому році беззмінних посівів. На п'ятому році беззмінних посівів висота гібридів зменшилась на 8–15 см, що свідчить про зменшення конкурентного тиску сегетальних рослин на формування морфометричних показників.

Найменша різниця за висотою рослин гібридів кукурудзи на першому та п'ятому році беззмінних посівів спостерігалась за використання сумісної дії ґрунтового та страхового гербіцидів, що вказує на мінімальний вплив на ростові процеси гібридів кукурудзи такої системи захисту від сегетальних рослин.

Висота рослин гібридів кукурудзи є певним показником накопичення біомаси та зернової частки. Розрахунки показали, що урожайність зерна досліджуваних гібридів за п'ятирічний термін беззмінних посівів та різних систем захисту від сегеталів позитивно корелює з висотою рослин (рис. 1). Найбільші коефіцієнти кореляції були зафіксовані у гібридів з подовженою тривалістю вегетації та більшою потенційною урожайністю – Тронка та Арабат.

Висота прикріплення верхнього (продуктивного) качана у гібридів кукурудзи різних груп ФАО за беззмінних посівів та відсут-

Таблиця 1
Кількість сегетальної рослинності на посівах кукурудзи різних груп ФАО за беззмінних посівів (середнє за роками) залежно від системи захисту від бур'янів в передзбиральний термін (ВВСН 83-87)

Роки беззмінних посівів	Кількість рослин на 1 м ² за засобів захисту							
	Контроль, без захисту		Фронт'єр® Оптіма		МайсТер® Пауер		Фронт'єр + МайсТер® Пауер	
	ФАО 190-250	ФАО 380-430	ФАО 190-250	ФАО 380-430	ФАО 190-250	ФАО 380-430	ФАО 190-250	ФАО 380-430
2021 р.	23,3	22,9	2,8	3,3	2,2	2,4	0,5	0,6
2022 р.	25,5	34,9	3,0	3,5	2,3	2,5	0,6	0,6
2023 р.	40,2	47,1	4,3	4,4	2,7	2,9	0,7	0,7
2024 р.	50,1	62,0	5,1	5,7	3,3	4,1	0,9	0,9
2025 р.	70,3	80,6	6,1	6,3	4,1	4,4	1,5	1,5

Таблиця 2

Висота рослин кукурудзи різних груп ФАО за беззмінних посівів залежно від системи захисту рослин від сегетальної рослинності

Система захисту рослин (фактор А)	Гібрид, група ФАО (фактор В)	Висота рослин за роками беззмінних посівів, см (фактор С)						Середнє за фактором, см	
		2021	2022	2023	2024	2025	Середнє	А	В
Без гербіцидів (контроль)	Степовий	235	232	220	215	210	222,4		232,3
	Хотин, 250	242	230	227	223	215	227,4		242,5
	Тронка	265	244	234	227	225	239,0		260,2
	Арабат	282	251	243	237	230	248,6		277,0
	середнє	256,0	239,2	231,0	225,5	220,0		234,3	
Фронт'єр® Оптіма	Степовий	237	230	234	230	227	231,6		
	Хотин, 250	248	243	245	242	240	243,6		
	Тронка	268	265	261	263	258	263,0		
	Арабат	289	285	287	275	272	281,6		
	середнє	260,5	255,7	256,7	252,5	249,2		254,9	
МайсТер® Пауер	Степовий	238	237	240	235	234	236,8		
	Хотин, 250	250	251	248	245	246	248,0		
	Тронка	270	268	273	267	265	268,6		
	Арабат	290	288	291	286	285	288,0		
	середнє	262,0	261,0	263,0	258,2	257,5		260,3	
Фронт'єр + МайсТер® Пауер	Степовий	242	240	238	237	235	238,4		
	Хотин, 250	252	251	250	253	249	251,0		
	Тронка	273	270	272	269	267	270,2		
	Арабат	293	291	289	287	288	289,6		
	Середнє	265,0	263,0	262,2	261,5	259,7		262,3	
	Середнє за С	244,1	238,2	236,9	233,0	230,5			
НІР _{0,05} , см		Для часткових різниць: А=3,5; В=4,6; С=2,7							
		Для середніх (основних) ефектів: А=4,2; В=3,8; С=2,9							

ності системи захисту від бур'янів за п'ятирічний термін знизилась на 15–23 см порівняно з першим роком (табл. 3). Найбільше зниження розташування продуктивного качана спостерігалось у пізньостиглих гібридів Тронка та Арабат, що підлягали найбільш тривалому конкурентному тиску сегетальних рослин.

Застосування системи захисту від сегеталів дозволило забезпечити оптимальне розташування продуктивного качана на рослинах гібридів, що відповідають їх біологічним характеристикам. У всіх гібридів за п'ятирічний термін беззмінних посівів висота розташування продуктивного качана знаходилась в оптимальних параметрах для комбайнового збирання (вище 70 см).

Висота розташування продуктивного качана у гібридів кукурудзи є важливим показником технічної характеристики гібрида та його потенційної урожайності. Розрахунки показали, що урожайність

зерна досліджуваних гібридів за п'ятирічний термін беззмінних посівів та різних систем захисту від сегеталів позитивно корелює з висотою розташування продуктивного качана (рис. 2). Найбільші коефіцієнти кореляції були зафіксовані у гібридів з подовженою тривалістю вегетації та більшою потенційною урожайністю – Тронка та Арабат ($r = 0,87$ та $0,89$ відповідно), що вказує на можливість попереднього прогнозування урожайності зерна гібридів за параметрами розташування продуктивного качана.

Середня урожайність зерна гібридів кукурудзи за п'ятирічний термін беззмінних посівів була найбільшою у гібридів Арабат та Тронка – 12,34 та 12,08 т/га відповідно (табл. 4), проте урожайність зерна у цих гібридів на п'ятому році беззмінних посівів та без захисту від сегетальних рослин була найменшою серед усіх гібридів та варіантів захисту (7,18 та 7,06 т/га відповідно).

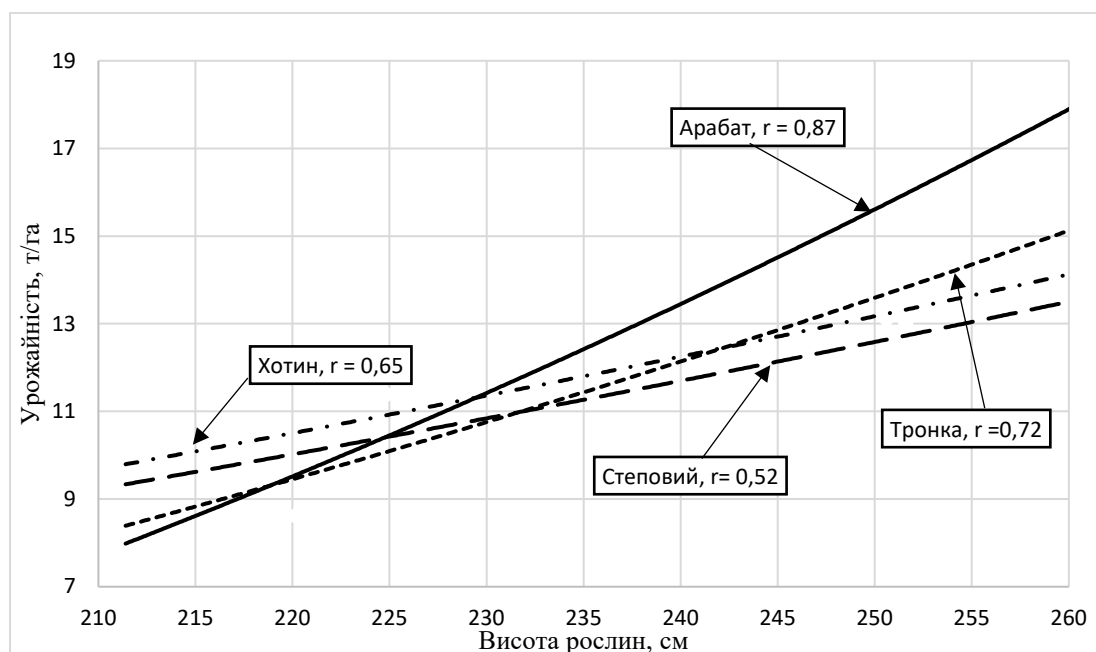


Рис. 1. Кореляційно-регресійні моделі залежності висоти рослин гібридів кукурудзи та врожайності зерна, залежно від гібриду за беззмінних посівів 2021–2025 рр.

Таблиця 3

Висота прикріплення верхнього (продуктивного) качана у гібридів кукурудзи різних груп ФАО за беззмінних посівів залежно від системи захисту рослин від сегетальної рослинності

Система захисту рослин (фактор А)	Гібрид, група ФАО (фактор В)	Висота прикріплення верхнього (продуктивного) качана, см						Середнє за фактором, см	
		2021	2022	2023	2024	2025	Середнє	А	В
Без гербіцидів (контроль)	Степовий	91	87	85	78	76	83,4	90,25	91,8
	Хотин, 250	96	90	86	80	77	85,8		99,65
	Тронка	104	96	90	87	85	92,4		106,1
	Арабат	111	105	97	96	88	99,4		111,0
	середнє	100,5	94,5	89,5	85,25	81,5			
Фронт'єр® Оптіма	Степовий	94	95	93	92	90	92,8	104,3	
	Хотин, 250	103	105	104	102	101	103,0		
	Тронка	111	110	109	108	107	109,0		
	Арабат	115	113	112	112	110	112,4		
	середнє	105,7	105,7	104,5	103,5	102			
МайсТер® Пауер	Степовий	96	95	94	94	93	94,4	105,7	
	Хотин, 250	105	106	103	104	102	104,0		
	Тронка	112	111	110	108	108	109,8		
	Арабат	118	116	115	113	112	114,8		
	середнє	107,7	107	105,5	104,7	103,7			
Фронт'єр + МайсТер® Пауер	Степовий	98	97	95	96	97	96,6	108,2	
	Хотин, 250	107	108	105	105	104	105,8		
	Тронка	114	114	112	113	112	113,0		
	Арабат	120	119	117	116	115	117,4		
	Середнє	109,7	109,5	107,2	107,5	107,0			
НІР _{0,05} , т/га		Для часткових різниць: А = 2,8; В = 3,6; С = 2,1							
		Для середніх (основних) ефектів: А = 2,3; В = 3,4; С = 2,2							

Зниження урожайності зерна, порівняно з першим роком беззмінних посівів, становило 3,28–3,37 т/га на варіанті без захисту рослин. Падіння урожайності порівняно з варіантом комплексного захисту на п'ятому році ще більш показове і становило 5,31 та 6,71 т/га, що пояснюється сильним впливом алелопатій сегеталів та більшою уразливістю пізньостиглих генотипів.

Середня урожайність гібридів за застосування ґрунтових та страхових гербіцидів за п'ятирічний термін беззмінних посівів становила 13,07 т/га, що на 5,08 т/га перевищувало варіант без захисту рослин. Урожайність зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО на п'ятому році без захисту рослин була майже однаковою (7,06–7,60 т/га), що не дало можливості розкрити потенційну урожайність генотипів різного ступеня інтенсивності.

Комплексний захист з застосуванням ґрунтових та страхових гербіцидів дозволив забезпечити достатньо високу сталість урожайності зерна протягом п'ятирічного терміну беззмінних посівів. Так, урожайність зерна гібриду Степовий з ФАО 190 знизилась на п'ятому році знизилась на 0,59 т/га, а у гібрида Хотин з ФАО 250 була майже на одному рівні (зменшення на 0,26 т/га). Гібриди з подовженою тривалістю вегетації більш негативно реагували на беззмінні посіви. У них урожайність зерна на п'ятому році зменшилась на 0,73–3,06 т/га, що

пояснюється відродженням сегетальної рослинності наприкінці вегетації за достатньо високого рівня зволоження ґрунту краплинним зрошенням. Зменшення урожайності зерна у гібридів на прикінцевих термінах беззмінних посівів пояснюється і негативним впливом накопичення специфічних фітопатогенів та інсектів, що було показано у попередніх дослідженнях (Donets et al., 2025).

Застосування ґрунтового гербіциду Фронт'єр® Оптіма не дало можливості подолати конкурентний вплив бур'янів. Відродження сегеталів проходило після дії ґрунтового гербіциду, що призводило до зниження урожайності зерна на п'ятому році беззмінних посівів у скоростиглих гібридів на 0,94–1,65 т/га та у пізньостиглих гібридів – на 0,49–1,72 т/га. Страховий гербіцид Майстер® Пауер був більш ефективним і падіння урожайності зерна на п'ятому році беззмінних посівів у скоростиглих гібридів становило 0,18–0,34 т/га та у пізньостиглих гібридів – на 0,81–0,88 т/га.

Висновки

На п'ятому році беззмінних посівів кукурудзи без використання гербіцидів висота рослин у середньому за гібридами, зменшилась з 256,0 до 220,0 см. Найбільше реагували на забур'яненість пізньостиглі гібриди (ФАО 380–430), висота рослин у яких зменшилась на п'ятий рік беззмінних посівів на 40–52 см. Скоростиглі гібриди (ФАО

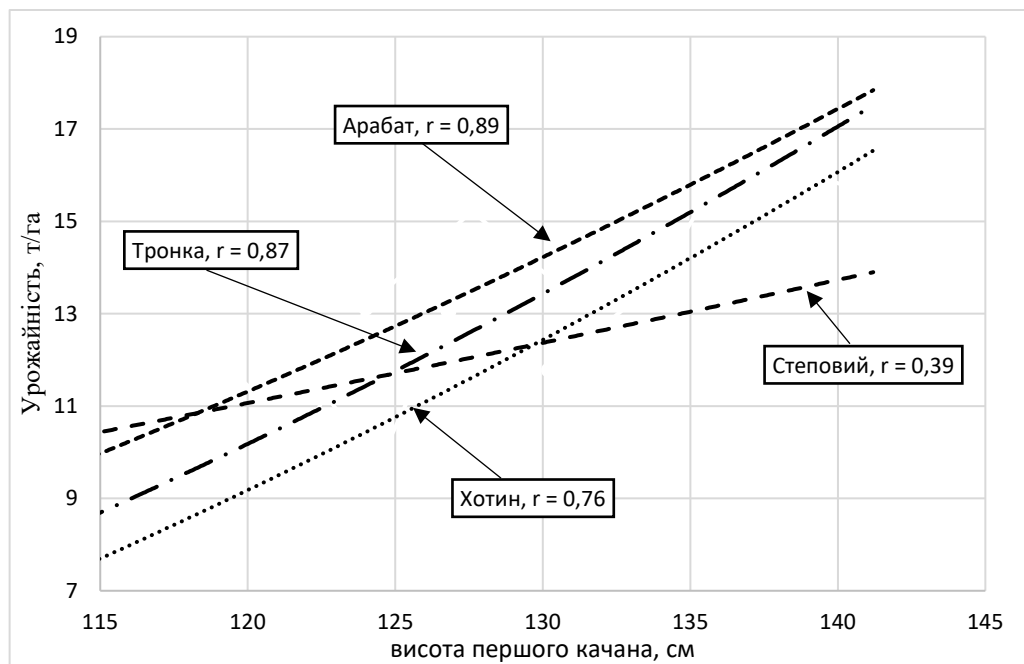


Рис. 2. Кореляційно-регресійні моделі залежності висоти прикріплення верхнього (продуктивного) качана гібридів кукурудзи та врожайності зерна, залежно від гібриду, середнє за 2021–2025 рр.

190-250) менше реагували на забур'яненість у зв'язку з меншою тривалістю періоду вегетації, що зменшило термін відродження ґрунтових запасів сегеталів. Найменша різниця за висотою рослин гібридів кукурудзи на першому та п'ятому році беззмінних посівів спостерігалась за використання сумісної дії ґрунтового та страхового гербіцидів (діюча речовина ґрунтового: диметенамід-П та діюча речовина страхового: форамсульфурон, йодосульфурон, тіенкарбазон-метил, ципросульфамід), що вказує на мінімальний вплив на ростові процеси гібридів кукурудзи такої системи захисту від сегетальних рослин. Урожайність зерна досліджуваних гібридів за п'ятирічний термін беззмінних посівів та різних систем захисту від сегеталів позитивно корелює з висотою рослин.

Застосування системи захисту від сегеталів дозволило забезпечити оптимальне розташування продуктивного качана на рослинах гібридів, що відповідають їх біологічним характеристикам. У всіх гібридів за п'ятирічний термін беззмінних посівів висота розташування продуктивного качана знаходилась в оптимальних параметрах для комбайнового збирання

(вище 70 см).

Урожайність зерна досліджуваних гібридів за п'ятирічний термін беззмінних посівів та різних систем захисту від сегеталів позитивно корелює з висотою рослин та висотою розташування продуктивного качана. Найбільші коефіцієнти кореляції були зафіксовані у гібридів з подовженою тривалістю вегетації та більшою потенційною урожайністю – Тронка та Арабат ($r = 0,87$ та $0,89$ відповідно), що вказує на можливість попереднього прогнозування урожайності зерна гібридів за параметрами висоти рослин та розташування продуктивного качана.

Для встановлення доцільності використання технології беззмінних посівів кукурудзи в умовах краплинного зрошення в подальшому необхідно провести аналіз економічної ефективності беззмінного вирощування кукурудзи, порівняно з традиційними сівоzmінами.

Список використаної літератури

Аверчев О. В., Іванів М. О., Михаленко І. В., Лавриненко Ю. О. Біометричні показники гібридів кукурудзи та їхній зв'язок із урожай-

Таблиця 4

Урожайність зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО за беззмінних посівів залежно від а системи захисту від сегетальних рослин

Система захисту рослин (фактор А)	Гібрид, група ФАО (фактор В)	Урожайність зерна за роками, т/га (фактор С)						Середнє за фактором, т/га	
		2021	2022	2023	2024	2025	Середнє	А	В
Без захисту (контроль)	Степовий, 190	8,36	8,02	7,88	7,98	7,13	7,87		10,42
	Хотин, 250	9,06	7,08	7,65	7,89	7,60	7,86		10,55
	Тронка, 380	10,34	8,56	8,12	7,45	7,06	8,31		12,08
	Арабат, 430	10,55	6,87	7,34	7,67	7,18	7,92		12,34
	середнє	9,58	7,63	7,75	7,75	7,24		7,99	
Фронт'єр® Оптіма	Степовий, 190	11,05	10,56	10,50	10,44	10,11	10,53		
	Хотин, 250	11,21	10,06	10,61	10,13	9,56	10,31		
	Тронка, 380	13,25	13,1	12,92	13,01	12,76	13,01		
	Арабат, 430	14,11	13,42	13,24	13,4	12,39	13,31		
	середнє	12,41	11,79	11,82	11,75	11,21		11,80	
МайсТер® Пауер	Степовий, 190	11,68	11,44	11,45	11,76	11,5	11,57		
	Хотин, 250	11,80	11,08	11,53	11,72	11,46	11,52		
	Тронка, 380	13,77	13,02	13,5	13,21	12,89	13,08		
	Арабат, 430	14,24	14,45	14,01	13,87	13,43	14,00		
	середнє	12,62	12,50	12,62	12,64	12,32		12,54	
Фронт'єр + МайсТер® Пауер	Степовий, 190	12,04	11,5	11,89	11,67	11,45	11,71		
	Хотин, 250	12,44	12,82	12,16	12,34	12,18	12,52		
	Тронка, 380	14,50	13,87	13,56	13,90	13,77	13,92		
	Арабат, 430	15,65	14,02	14,17	14,24	12,49	14,11		
	середнє	13,66	13,05	12,95	13,04	12,64		13,07	
Середнє за фактором С		12,07	11,24	11,28	11,29	10,85			
НІР _{0,05} , т/га		Для часткових різниць: А=0,45; В=0,39; С=0,31							
		Для середніх (основних) ефектів: А=0,41; В=0,35; С=0,38							

ністю зерна за різних способів поливу та вологозабезпеченості у Посушливому Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 111. С. 3–13. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.111.1>

Вожегова Р. А., Заєць С. О., Рудік О. А. та ін. Формування основ еколого-безпечного функціонування агрофітоценозів на неполивних землях Південного Степу: наук.-метод. рекомендації. Одеса: Олді+, 2025. 50 с.

Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Малярчук М. П. Методика польових і лабораторних досліджень на зрошуваних землях. Херсон: Грінь Д.С., 2014. 286 с.

Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю. та ін. Наукові основи вирощування гібридів кукурудзи в умовах зрошення Південного Степу України. Одеса: Олді+, 2024. 180 с.

Гадзало Я. М., Вожегова Р. А., Лікар Я. О. Вплив системи захисту рослин на структуру урожайності гібридів кукурудзи за їх вирощування в умовах зрошення півдня України. *Аграрні інновації*. 2024. № 27. С. 37–42. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.5>

Гангур В. В., Руденко В. В. Біометричні параметри рослин та продуктивність кукурудзи (*Zea mays* L.) залежно від строків сівби. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. №26(3). С. 36–41. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.07>

Грицюк Н.В., Довбиш Л.А., Бакалова А.В., Пузняк О.М. Забур'яненість короткоротаційної сівозміни залежно від системи удобрення на дерново-підзолистих ґрунтах. *Scientific Progress & Innovations*. 2022. № 1. С. 77–83. <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.01.09>

Гуральчук Ж. З., Мордерер Є. Ю. Проблема резистентності рослин до гербіцидів: генетичний та метаболічний аспекти. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2015. Т. 16. С. 100–104.

Гуральчук Ж. З., Мордерер Є. Ю. Проблема резистентності рослин до гербіцидів – інгібіторів ацетолактатсинтази. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2019. Т. 24. С. 296–301. <https://doi.org/10.7124/FEEO.v24.1118>

Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів дозволених до використання в Україні [Електронний ресурс]. URL: <https://eco.gov.ua/register/perelik-pesticidiv-i-agrohimikativ-dozvolenih-dlya-vikoristannya> (дата звернення 12.02.2026)

Іващенко О. О. Бур'яни в агрофітоценозах. Київ: Світ. 2001. 235 с.

Іващенко О., Ременюк С., Іващенко О. Проблеми потенційної засміченості ґрунту в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 8. С. 58–68. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201808-09>

Качмар О. Й., Вавринович О. В., Саверин І. В. Гербологічний стан посівів сільськогосподарських культур у короткоротаційній сівозміни залежно від систем основного обробітку ґрунту та удобрення. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2023. Вип. 74(2). С. 83–95. [https://doi.org/10.32636/01308521.2023-\(74\)-2-8](https://doi.org/10.32636/01308521.2023-(74)-2-8)

Коробко О. О., Литвин В. А., Черненко Л. М., Пристайло О. А. Вплив фізіологічно активних речовин на ростові процеси та вміст хлорофілу в рослинах кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. 2025. № 145, Ч. 1. С. 166–173. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.145.1.19>

Лебідь Є. М., Циков В.С., Матюха А. П., Шевченко М. С. Методика проведення польових дослідів по визначенню забур'яненості та ефективності засобів її контролювання в агрофітоценозах. Дніпропетровськ, 2008. С. 5–10.

Паламарчук В. Д. Вплив строків сівби на лінійні розміри рослин гібридів зернової кукурудзи. *Наукові горизонти*. 2018. №2. С.35–41.

Паламарчук В. Д., Коваленко О. А. Формування висоти закладання качанів у гібридів кукурудзи залежно від строків сівби. *Таврійський науковий вісник*. 2018. Вип. 100, ч. 2. С. 26–32.

Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Сучасний стан, проблеми та перспективи виробництва зерна кукурудзи. *Таврійський науковий вісник. Серія Сільськогосподарські науки*. 2025. № 144. С. 164–174. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.144.22>

Судак В. М., Горбатенко А. І., Матюха В. А. Інтегрований контроль бур'янів при вирощуванні пшениці озимої по чистому пару. *Зернові культури*. Том 2, № 1, 2018. С. 123–131. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0017>

Трибель С. О., Сігарьова Д. Д., Секун М. П., Іващенко О. О. Методи випробування та застосування пестицидів. Київ: Світ, 2001. 256 с.

Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Методика польового дослідів (Зрошуване землеробство). Херсон: Грінь Д.С., 2014. 448 с.

Циков В. С., Матюха А. П. Бур'яни: шкодочинність і система захисту. Дніпропетровськ: ТОВ Енем. 2006. 86 с.

- Цилюрик О. І., Десятник Л. М., Березовський С. В. Забур'яненість агроценозів кукурудзи під впливом обробітку ґрунту та удобрення в північному Степу України. *Зернові культури*. 2020. № 4(1). С. 152–159. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0119>
- Шевченко М. С., Шевченко С. М., Деревенець-Шевченко К. А., Швець Н. В. Техногенний рівень землеробства і асоціативна мінливість бур'янів в агроценозах. *Зернові культури*. 2019. Т. 3. № 1. С. 83–92. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0064>
- Chantre G. R., Gonzalez-Andujar J. L. Decision Support Systems for Weed Management. *Springer International Publishing*: Cham, Switzerland, 2020. 333 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-44402-0>.
- Donets A., Marchenko T., Lavrynenko Yu., Piliarska O., Mishchenko S. The impact of continuous maize cultivation on grain yield and agrophysical parameters of the arable soil layer. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2026. Vol. 27, Iss. 1. 2026. P. 1–13. <https://doi.org/10.12912/27197050/214464>
- Donets A., Marchenko T., Piliarska O., Lavrynenko Yu. The effectiveness of protection measures for maize hybrids of different FAO groups against damage caused by *Ostrinia nubilalis* Hübner under continuous maize cultivation conditions with irrigation. *Modern Phytomorphology*. 2025 Vol. 19. P. 91–95. <https://doi.org/10.5281/zenodo.200121>
- Dvirna T. S. Distribution of selected invasive plant species in the Romensko-Poltavsky Geobotanical District (Ukraine). *Biodiversity Research and Conservation*. 2015. Vol. 40. P. 37–47. <https://doi.org/10.1515/biorc-2015-0033>
- Kumar R. P., Singh J. S. Invasive alien plant species: Their impact on environment, ecosystem services and human health. *Ecological Indicators*. 2020. Vol. 111. 106020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106020>
- Sharma J., Singh R., Garai S., Rahaman S. M. Khatun M., Ranjan A., Mishra S. N., Tiwari, S. Climate change and dispersion dynamics of the invasive plant species *Chromolaena odorata* and *Lantana camara* in parts of the central and eastern India. *Ecological Informatics*. 2022. Vol. 72. 101824. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101824>
- Shuvar I. A., Korpita H. M., Hadzalo O. J. Global warming as a factor of growth of invasiveness of segetal plant species in the Western Forest-Steppe. *Bulletin of Agricultural Science*. 2025. № 7 (868). P. 47–61. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202507-05>
- Skrypchenko N. V., Dziuba O. I., Horbenko, N. Y. The estimation of soil fatigue in condition of long-term cultivation of woody fruit lianes. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2020. Vol. 30(3). P. 36–40. <https://doi.org/10.36930/40300306>

References

- Averchev, O. V., Ivaniv, M. O., Mykhalenko, I. V., & Lavrynenko, Yu. O. (2020). Biometrychni pokaznyky hibrydiv kukurudzy ta yikhniy zv'yazok iz urozhaynistyu zerna za riznykh sposobiv polyvu ta volohozabezpechenosti u Posushlyvomu Stepu Ukrayiny. [Biometric indicators of corn hybrids and their relationship with grain yield under different irrigation methods and moisture supply in the Arid Steppe of Ukraine]. *Tavriys'kyy Naukovyy Visnyk [Tavria Scientific Bulletin]*, No. 111, 3–13. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.111.1> [in Ukrainian].
- Vozhegova, R. A., Zaets, S. O., Rudik, O. L. et al. (2025). Formuvannya osnov ekoloho-bezpechnoho funktsionuvannya ahrofitotsenoziv na nepolyvnykh zemlyakh Pivdennoho Stepu: nauk.-metod. rekomendatsiyi [Formation of the foundations of ecologically safe functioning of agrophytocenoses on non-irrigated lands of the Southern Steppe: scientific and methodological recommendations]. Odesa: Oldi+ [in Ukrainian].
- Vozhegova, R. A., Lavrynenko, Yu. O., & Malyarchuk, M. P. (2014). Metodyka pol'ovyykh i laboratornykh doslidzhen' na zroshuvanykh zemlyakh [Methodology of field and laboratory research on irrigated lands]. Kherson: Grin D.S. [in Ukrainian].
- Vozhegova, R. A., Lavrynenko, Yu. O., & Marchenko, T. Yu. (2024). Naukoviosnovy vyroshchuvannya hibrydiv kukurudzy v umovakh zroshennya Pivdennoho Stepu Ukrayiny [Scientific foundations of growing corn hybrids under irrigation conditions in the Southern Steppe of Ukraine]. Odesa: Oldi+ [in Ukrainian].
- Gadzalo, Ya. M., Vozhegova, R. A. & Likar, Ya. O. (2024). Vplyv systemy zakhystu roslyn na strukturu urozhaynosti hibrydiv kukurudzy za yikh vyroshchuvannya v umovakh zroshennya pivdnya Ukrayiny [The influence of the plant protection system on the yield structure of corn hybrids when grown under irrigated conditions in southern Ukraine]. *Ahrarni Innovatsiyi [Agrarian*

Innovations], 27, 37–42. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.5> [in Ukrainian].

Gangur, V. V., & Rudenko, V. V. (2023). Biometrychni parametry roslyn ta produktyvnist' kukurudzy (*Zea mays* L.) zalezhno vid strokiv sivby [Biometric parameters of plants and productivity of corn (*Zea mays* L.) depending on sowing dates]. *Scientific Progress & Innovations*, 26(3), 36–41. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.07> [in Ukrainian].

Grytsyuk, N. V., Dovbysh, L. L., Bakalova, A. V., & Puznyak, O. M. (2022). Zabur'yanenist' korotkorotatsiynoyi sivozmyny zalezhno vid systemy udobrennya na dernovo-pidzolystykh gruntakh [Weediness of short-rotation crop rotation depending on the fertilization system on sod-podzolic soils]. *Scientific Progress & Innovations*, 1, 77–83. <https://doi.org/0.31210/visnyk2022.01.09> [in Ukrainian].

Guralchuk, Zh. Z., & Morderer, E. Yu. (2015). Problema rezystentnosti roslyn do herbitsydiv: henetychnyy ta metabolichnyy aspekty [The problem of plant resistance to herbicides: genetic and metabolic aspects]. *Fakty Ekspyrymental'Noyi Evolyutsiyi Orhanizmi* [Factors of Experimental Evolution of Organisms], 16, 100–104 [in Ukrainian].

Guralchuk, Zh. Z., & Morderer, E. Yu. (2019). Problema rezystentnosti roslyn do herbitsydiv – inhibitorivatsetolaktat-syntazy [The problem of plant resistance to herbicides – inhibitors of acetolactate synthase]. *Fakty Ekspyrymental'Noyi Evolyutsiyi Orhanizmi* [Factors of Experimental Evolution of Organisms], 24, 296–301. <https://doi.org/10.7124/FEEO.v24.1118> [in Ukrainian].

Derzhavnyy reyestr pestytsydiv i ahrokhimikativ dozvolenykh do vykorystannya v Ukrayini [State register of pesticides and agrochemicals permitted for use in Ukraine] [Electronic resource]. URL: <https://eco.gov.ua/registers/perelik-pestycidiv-i-agrokhimikativ-dozvolenih-dlya-vikoristannya> (date of application 12.02.2026) [in Ukrainian].

Ivashchenko, O. O. (2001). Bur'yany v ahrofitotsenozakh [Weeds in agrophytocenoses]. Kyiv: Svit [in Ukrainian].

Ivashchenko, O., Remenyuk, S., & Ivashchenko, O. (2018). Problemy potentsiynoyi zasmichenosti gruntu v Ukrayini [Problems of potential soil contamination in Ukraine]. *Visnyk Ahrarnoyi Nauky* [Bulletin of Agricultural Science], 8, 58–68. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201808-09> [in Ukrainian].

Kachmar, O. Y., Vavrynovych, O. V., & Saverny, I. V. (2023). Herbolohichnyy stan posiviv sil's'kohospodars'kykh kul'tur u korotkorotatsiyniy sivozmini zalezhno vid system osnovnoho obrobittu gruntu ta udobrennya [Herbological condition of crops in short-rotation crop rotation depending on the main tillage and fertilization systems]. *Peredhirne ta hirs'ke Zemlerobstvo Itvarynnystvo* [Foothill and Mountain Agriculture and Animal Husbandry], 74(2), 83–95. [https://doi.org/10.32636/01308521.2023-\(74\)-2-8](https://doi.org/10.32636/01308521.2023-(74)-2-8) [in Ukrainian].

Korobko, O. O., Lytvyn, V. A., Chernenko, L. M., & Prystaylo, O. A. (2025). Vplyv fiziologichno aktyvnykh rehovyn na rostovi protsesy ta vmist khlorofilu v roslynakh kukurudzy [Influence of physiologically active substances on growth processes and chlorophyll content in corn plants]. *Tavriys'kyi Naukovyy Visnyk* [Tavria Scientific Bulletin], 145(1), 166–173. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.145.1.19> [in Ukrainian].

Lebid, E. M., Tsykov, V. S., Matyukha, L. P., & Shevchenko, M. S. (2008). Metodyka provedennya pol'ovyykh doslidiv po vyznachennyu zabur'yanenosti ta efektyvnosti zasobiv yiyi kontrolyuvannya v ahrofitotsenozakh [Methodology for conducting field experiments to determine weed infestation and the effectiveness of its control in agrophytocenoses]. Dnipropetrovsk [in Ukrainian].

Palamarchuk, V. D. (2018). Vplyv strokiv sivby na liniyni rozmiiry roslyn hibrydiv zernovoyi kukurudzy [Influence of sowing dates on the linear dimensions of grain corn hybrid plants]. *Scientific Horizons*, 2, 35–41 [in Ukrainian].

Palamarchuk, V. D., & Kovalenko, O. A. (2018). Formuvannya vysoty zakladannya kachaniv u hibrydiv kukurudzy zalezhno vid strokiv sivby [Formation of the height of ear setting in corn hybrids depending on the sowing dates]. *Tavriys'kyi Naukovyy Visnyk* [Tavria Scientific Bulletin], 100(2), 26–32 [in Ukrainian].

Sidyakina, O. V., & Gamula, E. A. (2025). Suchasnyy stan, problemy ta perspektyvy vyrobnytstva zerna kukurudzy [Current state, problems and prospects of corn grain production]. *Tavriys'kyi Naukovyy Visnyk. Seriya Sil's'kohospodars'ki Nauky* [Tavria Scientific Bulletin. Agricultural Sciences Series], 144, 164–174. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.144.22> [in Ukrainian].

Sudak, V. M., Gorbatenko, A. I., & Matyukha, V. L. (2018). Intehrovanyy kontrol' buryaniv pry vyroshchuvanni pshenytsi ozymoyi po chystomu paru [Integrated weed control when growing winter wheat in pure steam]. *Zernovi Kul'tury* [Cereal Crops], 2(1), 123–131. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0017> [in Ukrainian].

- Tribel, S. O., Sigaryova, D. D., Sekun, M. P., & Ivashchenko, O. O. (2001). *Metody vyprobuвання ta zastosuvannya pestytsydiv* [Methods of testing and application of pesticides]. Kyiv: Svit [in Ukrainian].
- Ushkarenko, V. O., Vozhegova, R. A., Holoborodko, S. P., & Kokovikhin, S. V. (2014). *Metodyka pol'ovoho doslidu (Zroshuvane zemlerobstvo)* [Methodology of field experiments (Irrigated agriculture)]. Kherson: Grin D. S. [in Ukrainian].
- Tsykov, V. S., & Matyukha, L. P. (2006). *Bur'yany: shkodochynnist' i systema zakhystu* [Weeds: harmfulness and protection system]. Dnipropetrovsk: Enem LLC [in Ukrainian].
- Tsylyuryk, O. I., Desyatnik, L. M., & Berezovsky, S. V. (2020). *Zabur'yanenist' ahrotsenoziv kukurudzy pid vplyvom obrobittu gruntu ta udobrennya v pivnichnomu Stepu Ukrayiny* [Pollution of corn agrocenoses under the influence of soil cultivation and fertilization in the northern Steppe of Ukraine]. *Zernovi Kul'tury [Cereal Crops]*, 4(1), 152–159. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0119> [in Ukrainian].
- Shevchenko, M. S., Shevchenko, S. M., & Derevenets-Shevchenko, K. A., Shvets N. V. (2019). *Tekhnohennyi riven' zemlerobstva i asotsiatyvna minlyvist' bur'yaniv v ahrotsenozakh* [Technogenic level of agriculture and associative variability of weeds in agrocenoses]. *Zernovi Kul'tury [Cereal Crops]*, 3(1), 83–92. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0064> [in Ukrainian].
- Chantre, G. R., & Gonzalez-Andujar, J. L. (2020). *Decision Support Systems for Weed Management*. Springer International Publishing: Cham, Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-44402-0> [in English].
- Donets, A., Marchenko, T., Lavrynenko, Yu., Piliarska, O., & Mishchenko, S. (2026). The impact of continuous maize cultivation on grain yield and agrophysical parameters of the arable soil layer. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 27(1), 1–13. <https://doi.org/10.12912/27197050/214464> [in English].
- Donets, A., Marchenko, T., Piliarska, O., & Lavrynenko, Yu. (2025). The effectiveness of protection measures for maize hybrids of different FAO groups against damage caused by *Ostrinia nubilalis* Hübner under continuous maize cultivation conditions with irrigation. *Modern Phytomorphology*, 19, 91–95. <https://doi.org/10.5281/zenodo.200121> [in English].
- Dvirna, T. S. (2015). Distribution of selected invasive plant species in the Romensko-Poltavsky Geobotanical District (Ukraine). *Biodiversity Research and Conservation*, 40, 37–47. <https://doi.org/10.1515/biorc-2015-0033> [in English].
- Kumar, R. P., & Singh, J. S. (2020). Invasive alienplant species: Their impact on environment, ecosystemservices and human health. *Ecological Indicators*, 111, 106020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106020> [in English].
- Sharma, J., Singh, R., Garai, S., Rahaman, S. M., Khatun, M., Ranjan, A., Mishra, S. N., & Tiwari, S. (2020). Climate change and dispersion dynamics of the invasive plant species *Chromolaena odorata* and *Lantana camara* in parts of the central and eastern India. *Ecological Informatics*, 72, 101824. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101824> [in English].
- Shuvar, I. A., Korpita, H. M., & Hadzalo, O. J. (2025). Global warming as a factor of growth of invasiveness of segetal plant species in the Western Forest-Steppe. *Bulletin of Agricultural Science*, 7(868), 47–61. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202507-05> [in English].
- Skrypchenko, N. V., Dziuba, O. I., & Horbenko, N. Y. (2020). The estimation of soil fatigue in condition of long-term cultivation of woody fruit lianes. *Scientific Bulletin of UNFU*, 30(3), 36–40. <https://doi.org/10.36930/40300306> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 16.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 15.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 16
Український журнал природничих наук
№ 16

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 631.1:633.88:620.92

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.20>

РЕСУРСНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТА СТРАТЕГІЧНІ ОРІЄНТИРИ ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР НА МАЛОПРОДУКТИВНИХ ЗЕМЛЯХ УКРАЇНИ ДО 2035 РОКУ

В. К. Заїка¹, Д. І. Шеленко², В. В. Гусак³, П. М. Дмитрик⁴

У статті досліджено стратегічні напрями розвитку біоенергетичного сектору України в умовах воєнного стану та глобальних енергетичних викликів. Обґрунтовано, що впровадження альтернативних джерел енергії, зокрема фітоенергетичної сировини, є критично важливою умовою для зміцнення енергетичної незалежності та економічної безпеки держави. Проаналізовано сучасний стан і перспективні ресурсні можливості виробництва твердого біопалива на основі багаторічних енергетичних культур із C4-типом фотосинтезу. Особливу увагу приділено таким культурам, як міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus* G.), просо прутноподібне (*Panicum virgatum* L.), сорго багаторічне (*Sorghum alatum* Parodi), сіда багаторічна (*Sida hermaphrodita* Rusby), верба енергетична та тополя. У роботі представлено оцінку фактичних площ вирощування цих культур в Україні станом на 2025 рік, де встановлено домінуючу роль енергетичної верби (понад 60% ринку) та поступове зростання інтересу до трав'янистих видів завдяки їхній високій енергетичній щільності. Авторами висвітлено екологічні переваги створення енергетичних плантацій, зокрема їхню роль у запобіганні деградації ґрунтів та мінімізації водної ерозії. Окреслено потенціал використання маргінальних (малопродуктивних) земель, площа яких в Україні оцінюється у межах 6–13 млн га. Доведено, що залучення 1,5 млн га таких угідь до 2035 року дозволить суттєво наростити обсяги імпортозаміщення природного газу та сформувати локальні енергетичні кластери. В межах дослідження систематизовано дані Державного реєстру сортів рослин України щодо перспективного генофонду енергетичних культур, придатних для поширення у різних агрокліматичних

¹ доктор біологічних наук,
професор кафедри лісового і аграрного менеджменту
(Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)
ORCID: 0000-0002-2206-772X

² доктор економічних наук,
професор кафедри підприємництва, торгівлі та прикладної економіки
(Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)
ORCID: 0000-0002-9214-7258

³ доктор філософії,
доцент кафедри біохімії та біотехнології
(Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)
ORCID: 0000-0001-9415-9837

⁴ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри лісового і аграрного менеджменту
(Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)
ORCID: 0000-0003-1973-391X

зонах. Проведено порівняльний аналіз технологічних аспектів розмноження культур (вегетативного та генеративного) та акцентовано увагу на необхідності створення потужної розсадницької бази для забезпечення агропідприємств якісним садивним матеріалом. Науково обґрунтовано диференційований підхід до вибору культур залежно від гідротермічних умов регіону: відзначено переваги міскантусу та верби в зонах достатнього зволоження, а також адаптивність світч-грасу, сіди та тополі до умов посухи. Отримані результати підтверджують, що інтенсифікація вирощування спеціалізованих енергетичних рослин є ключовим інструментом декарбонізації енергетики та сталого розвитку аграрних територій.

Ключові слова: міскантус гігантський, просо прутноподібне, верба, сіда багаторічна, сорго, малопродуктивні землі, біопаливо, енергетична незалежність.

RESOURCE POTENTIAL AND STRATEGIC GUIDELINES FOR ENERGY CROP CULTIVATION ON MARGINAL LANDS OF UKRAINE UNTIL 2035

V. K. Zaika, D. I. Shelenko, V. V. Husak, P. M. Dmytryk

*The article explores the strategic directions for the development of Ukraine's bioenergy sector under the conditions of martial law and global energy challenges. It is substantiated that the implementation of alternative energy sources, particularly phyto-energy raw materials, is a critical condition for strengthening the state's energy independence and economic security. The current state and prospective resource opportunities for solid biofuel production based on perennial energy crops with the C_4 photosynthetic pathway are analyzed. Particular attention is paid to such crops as giant miscanthus (*Miscanthus giganteus* G.), switchgrass (*Panicum virgatum* L.), perennial sorghum (*Sorghum alnum* Parodi), Virginia mallow (*Sida hermaphrodita* Rusby), energy willow, and poplar. The paper presents an assessment of the actual cultivation areas of these crops in Ukraine as of 2025, establishing the dominant role of energy willow (over 60% of the market) and a gradual increase in interest in herbaceous species due to their high energy density.*

The authors highlight the environmental benefits of establishing energy plantations, specifically their role in preventing soil degradation and minimizing water erosion. The potential for utilizing marginal (low-productivity) lands, the area of which in Ukraine is estimated at 6–13 million hectares, is outlined. It is proven that involving 1.5 million hectares of such lands by 2035 will significantly increase the volume of natural gas import substitution and facilitate the formation of local energy clusters. Within the scope of the study, data from the State Register of Plant Varieties of Ukraine regarding the promising gene pool of energy crops suitable for distribution in various agro-climatic zones are systematized. A comparative analysis of the technological aspects of crop propagation (vegetative and generative) is conducted, with emphasis on the necessity of creating a robust nursery base to provide agricultural enterprises with high-quality planting material. A differentiated approach to crop selection depending on the hydrothermal conditions of the region is scientifically justified: the advantages of miscanthus and willow in areas with sufficient moisture are noted, as well as the adaptability of switchgrass, Sida, and poplar to drought conditions. The results confirm that the intensification of specialized energy crop cultivation is a key tool for energy decarbonization and the sustainable development of agricultural territories.

Key words: giant miscanthus, switchgrass, willow, *Sida hermaphrodita*, sorghum, marginal lands, biofuel, energy independence.

Вступ

У період дії воєнного стану проблема забезпечення України енергоносіями загострилася, що негативно позначається не лише на стані національної економіки, рівні добробуту населення та екологічній ситуації, але й суттєво підсилює залежність держави від імпортованих ресурсів. За таких умов пошук і впровадження альтернативних джерел енергії стає стратегічною необхідністю (Gupta et al., 2014; Hryhoriv et al., 2023). Водночас одним із пріоритетних завдань науковців та аграрного сектору є розробка й удосконалення технологій вирощування

енергетичних культур, а також проведення економічного й енергетичного аналізу технологічних процесів з урахуванням ґрунтово-кліматичних особливостей регіонів України (Juodka et al., 2022).

Вирощування та виробниче використання енергетичних культур в Україні перебуває переважно на етапі експериментальних досліджень, тому необхідна системна та цілеспрямована робота щодо впровадження їх у сільськогосподарську практику (Riaz et al., 2022). Значні наукові результати у сфері біоенергетики отримано в провідних науково-дослідних установах НАН

України та НААН, а також у низці закладів вищої освіти. Серед них варто відзначити Національний університет біоресурсів і природокористування України, Інститут відновлювальної енергетики НАН України, Вінницький національний аграрний університет, Інститут технічної теплофізики НАН України, Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України та інші установи, що беруть активну участь у реалізації державних програм розвитку біоенергетики.

Ефективність створення енергетичних плантацій значною мірою залежить від правильно підбраного виду чи сорту культур з урахуванням конкретних ґрунтово-кліматичних умов (Гелетуха та ін., 2018; Вожегова та ін., 2022; Hryhoriv et al., 2022). За оптимальних умов урожайність енергетичних плантацій може досягати 20–40 т/га сухої біомаси щорічно (Hryhoriv et al., 2024).

Сучасні глобальні виклики зумовлюють необхідність інтенсифікації вирощування біоенергетичних культур для їх подальшої конверсії у біопаливо. В умовах обмеженості земельних ресурсів, придатних для фітоенергетики, отримання врожайності на рівні традиційних сільськогосподарських культур є економічно недоцільним. Натомість, в агрокліматичних умовах України особливого значення набувають рослини з C4-типом фотосинтезу, зокрема міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus* G.), просо прутноподібне (*Panicum virgatum* L.), сорго багаторічне (*Sorghum alnum* Parodi), сіда багаторічна (*Sida hermaphrodita* Rusby), сильфій пронизанолістий (*Silphium perfoliatum* L.) та кукурудза (*Zea mays* L.), які характеризуються високим потенціалом формування надземної біомаси (Присяжнюк та ін., 2024).

У сучасній світовій практиці спостерігається тенденція до розширення площ під плантації високопродуктивних фітоенергетичних культур із високим вмістом целюлози, що слугують сировиною для генерації біопалива. Ключовими представниками цієї групи є міскантус (*Miscanthus*), просо прутноподібне (*Panicum virgatum* L.), верба енергетична (*Salix* L.) та тополя (*Populus* L.). Завдяки адаптивності до несприятливих агрокліматичних умов, ці багаторічні рослини можуть ефективно культивуватися на малопродуктивних землях та ділянках із пересіченим рельєфом.

Окрім енергетичної доцільності, створення таких плантацій забезпечує значний

екологічний ефект: мінімізацію водної ерозії, запобігання деградації ґрунтів та скорочення втрат поживних елементів через поверхневий стік. Низька собівартість вирощування, зумовлена мінімальною потребою в мінеральних добривах та пестицидах, дозволяє залучати до енергетичного обігу землі, виведені з інтенсивних сівозмін (Писаренко та ін., 2017; Вожегова та ін., 2022).

Згідно з даними Державної служби статистики України (Державна ..., 2021), теоретичний потенціал незадіяних земель для вирощування біоенергетичних культур становить 4 млн га, що за умови повного освоєння дозволить замінити близько 20 млрд м³ природного газу. З урахуванням техніко-економічних чинників, реалістичний потенціал оцінюється у 2 млн га, що еквівалентно 10 млрд м³ газу (близько 34% загального споживання у 2019 р.) (Національна економічна стратегія до 2030 року). Реалізація цього потенціалу сприятиме імпортозаміщенню палива на суму понад 1,8 млрд дол. США, посилюючи енергетичну безпеку держави.

Питання ефективності вирощування фітоенергетичної сировини та її переробки на тверді види палива перебувають у центрі уваги наукової спільноти, що підтверджується публікаціями таких авторів, Е. Алексопулос (Alexopoulou et al., 2010), І. Гончарук (Honcharuk & Babyna, 2020), М. Кулик, (Kulyk et al., 2020), Г. Калетнік (Калетнік, 2015), Г. Гелетуха, П. Кучерук, Т. Железна, (Гелетуха та ін., 2018), та ін. Незважаючи на значний масив накопичених даних щодо енергетичного потенціалу біомаси, подальшого дослідження потребують механізми інтенсифікації продукційних процесів енергетичних культур, зокрема через застосування стимуляторів росту, та оцінка їхнього впливу на вихід теплової енергії.

Перехід на біологічні види палива є ключовим інструментом оптимізації використання природних ресурсів та поліпшення екологічних показників довкілля, що безпосередньо корелює з рівнем національної енергонезалежності. Проте, актуальним завданням залишається наукове обґрунтування пріоритетних векторів інвестування у біопаливну галузь. Окремої уваги потребує ідентифікація біоенергетичних культур, які за своїми фізико-хімічними та економічними параметрами є оптимальними для промислової переробки в умовах сучасного ринку та збереженню і відтворенню родючості ґрунтів (Чумбей та ін., 2025).

Матеріал та методи

Інформаційною основою дослідження слугували наукові праці вітчизняних та закордонних науковців, у яких окреслено теперішній стан і майбутні ресурсні спроможності виробництва біопалива, а також зроблено оцінку енергетичного потенціалу фітоенергетичних рослин. Методологічний апарат ґрунтувався на використанні системного підходу із застосуванням прийомів кількісного та якісного зіставлення, абстрактно-логічного узагальнення та аналітичного методу, що дало змогу підтвердити достовірність здобутих результатів та обґрунтованість рішень.

Результати

Оптимізація технологічних параметрів вирощування є ключовою детермінантою підвищення продуктивності енергетичних рослин та їх економічної рентабельності. На вітчизняному науковому просторі ведеться активний пошук серед більш ніж 20 видів біоенергетичної флори, придатних для промислової експлуатації. Сучасна номенклатура енергетичних культур включає широкий спектр рослин: від олійних культур, що використовуються в технологіях виробництва біодизеля, до багаторічних трав'янистих видів, які забезпечують стабільний вихід високоякісної сировини для твердопаливної галузі (Писаренко та ін., 2022).

Так, га сьогодні тверді види біопалива займають провідне місце в енергетичному балансі України, проте їх виробництво значною мірою залежить від доступності деревних відходів та сільськогосподарських решток. Експлуатація такої сировини характеризується значною волатильністю обсягів заготівлі та низькою якістю кінцевого продукту. Висока концентрація зольних елементів (до 10%) у паливі з агро-решток призводить до погіршення його енергетичних параметрів та швидкого зносу паливних систем. Це зумовлює необхідність пошуку альтернативної, гомогенної сировини з низьким вмістом мінеральних речовин, що робить вирощування спеціалізованих енергетичних культур пріоритетним напрямом досліджень.

Разом з тим, в умовах вітчизняного агро-виробництва доцільним є впровадження плантацій багаторічних фітоенергетичних рослин (міскантусу, сіди, сорго та світчґрасу), які демонструють високу продуктивність на землях, непридатних для інтенсивного землеробства. Економічна перевага їх вирощування полягає у мінімізації витрат

на добрива та засоби захисту рослин. Окрім енергетичної цінності, ці види виконують важливі екосистемні функції: нівелюють вплив водної та вітрової ерозії, сприяють консервації ґрунту та покращенню біорізноманіття агроландшафтів.

Пріоритетними культурами у секторі біоенергетики є міскантус гігантський, сіда багаторічна, сорго багаторічне та світчґрас, які завдяки специфіці C4-метаболізму демонструють значну продуктивність на маргінальних землях. Міскантус вирізняється з-поміж інших трав'янистих видів стабільно високим урожаєм сухої речовини (до 25 т/га) та оптимальними технологічними властивостями сировини: низьким вмістом води ($\leq 25\%$) та енергоємністю на рівні 18 МДж/кг. Світчґрас, як представник багаторічних злакових культур, також є перспективним ресурсом для створення сталих енергетичних плантацій на ґрунтах, схильних до водної та вітрової ерозії. Сорго та сіда багаторічні показують хорошу продуктивність на малородючих землях.

Ми провели оцінку площ під енергетичними культурами в Україні на 2025 рік, яка базується на середніх даних моніторингу Біоенергетичної асоціації України (UABIO), Держенергоефективності та профільних наукових установ, враховуючи динаміку за останні роки та вплив воєнного стану (табл. 1).

З аналізу табличних даних визначено, що на сьогодні загальна площа під багаторічними енергетичними плантаціями в Україні становить близько 6 000 – 6500 га, хоча теоретичний потенціал (маргінальні землі) сягає мільйонів гектарів.

В Україні на 2025 рік поміж найпоширеніших енергетичних культур верба залишається основною культурою (понад 60% ринку), оскільки технологія її збирання та переробки на тріску є найбільш освоєною. Також, велика кількість перезволожених та деградованих земель на Поліссі та в Західному Лісостепу є природно оптимальними для верби, що дозволяє отримувати високий вихід сухої речовини (10–15 т/га) без значних капіталовкладень у меліорацію.

Однак, слід відмітити, що останнім часом зростання інтересу до міскантусу та сіди у 2024–2025 роках пояснюється їхньою вищою енергетичною щільністю з одиниці площі та можливістю використання у біогазових установках, що є критично важливим для забезпечення енергетичної автономності територіальних громад.

Слід наголосити, що ключовим чинником успішної апробації енергетичних культур у виробничу практику є забезпечення агропідприємств сертифікованим садивним і посівним матеріалом. У випадку з міскантусом критичне значення має якість кореневищ (ризом): для гарантування високої приживлюваності вони повинні мати розвинену брунькову систему. Для проса прутноподібного, сіди багаторічної, яке розмножується насінням, пріоритетним завданням є оптимізація передпосівної підготовки та параметрів сівби, що дозволяє мінімізувати ризики зрідженості посівів на початкових етапах органогенезу. Основним методом репродукції енергетичних форм верби та тополі є вегетативне розмноження, що

вимагає належного забезпечення виробничого процесу сортовим матеріалом високих репродукцій. Ефективність таких насаджень безпосередньо залежить від функціонування розсадницької бази, орієнтованої на розмноження перспективного генофонду, внесеного до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні (табл. 2).

Згідно з Державним реєстром сортів рослин, придатних для поширення в Україні, до ключових фітоенергетичних таксонів належать верба (*Salix*), міскантус (*Miscanthus*), просо прутноподібне (*Panicum virgatum* L.) та тополя (*Populus*). Слід зазначити, що міскантус, світчграс, сіда, верба та тополя характеризуються повною придатністю

Таблиця 1
Фактичні площі вирощування енергетичних культур в Україні (оцінка на 2025 р.), га

Культура	Площа	Територія вирощування
Міскантус гігантсус	1500	Основні масиви зосереджені в Житомирській, Київській та Полтавській областях.
Світчграс	600	Вирощується переважно в науково-дослідних господарствах та на експериментальних полях агрохолдингів.
Сорго багаторічне	350	Використовується переважно як кормова та частково біоенергетична культура в південних регіонах
Сіда багаторічна	175	Найменш поширена серед промислових масштабів, здебільшого це наукові ділянки та локальні фермерські проекти
Енергетична верба	3750	Найбільш масштабована культура в Україні (лідер за площею). Основні плантації на Волині, Львівщині та Житомирщині
Енергетична тополя	500	Поступово набирає популярності в західних областях завдяки швидкому приросту біомаси
Сильфій пронизолістий	75	Переважно експериментальні посіви на базі наукових установ (наприклад, Інституту біоенергетичних культур)

Таблиця 2
Рекомендовані до впровадження в Україні сорти біоенергетичних рослин за даними Державного реєстру сортів рослин станом на 2025

Ботанічний таксон	Назва сорту	Рік реєстрації	Рекомендована зона вирощування
Міскантус гігантський (<i>Miscanthus x giganteus</i>)	Гулівер	2015	ПЛ
	Осінній зорецвіт	2015	ЛП
	Біотех	2017	СЛП
	Іллінойс	2024	СЛП
	Прометей	2025	ЛП
Верба прутновидна (<i>Salix viminalis</i> L.)	Збруч	2018	СЛП
	М1	2021	СЛП
	М2	2021	СЛП
	М3	2021	СЛП
	К2	2021	СЛП
Тополь чорна (<i>Populus</i> L.)	Макс-4	2023	СЛП
Світчграс, просо прутноподібне (<i>Panicum virgatum</i> L.)	Морозко	2015	ЛП
	Зоряне	2015	ЛП
	Лядовське	2018	ЛП
Сорго багаторічне (<i>Sorghum alnum</i> Parodi),	Колумбо	2013	ЛС
Сіда багаторічна (<i>Sida hermaphrodita</i> Rusby)	Вірджинія	2014	ЛП
	Фітоенергія	2018	ЛП

всієї фітомаси до енергетичної конверсії. На відміну від продовольчих культур (сорго, кукурудза, цукрові буряки), використання яких часто спричиняє конкуренцію між харчовим та паливним секторами, багаторічні енергетичні рослини дозволяють формувати локальні центри переробки. Це спрощує логістику порівняно з цукроносними чи олійними культурами (соняшник, соя), переробка яких жорстко прив'язана до спеціалізованих промислових потужностей.

Завдяки своєму географічному положенню та різноманітності ґрунтоутворювальних порід, ґрунтовий покрив України представлений широким спектром генетичних типів. Поряд із високородючими чорноземами та сірими лісовими ґрунтами, значні площі займають малопродуктивні (маргінальні) угіддя, обсяг яких, за різними оцінками, становить від 6 до 13 млн га. Незважаючи на низьку економічну ефективність, значна частина цих земель залишається в інтенсивному сільськогосподарському обігу через відсутність чітких законодавчих механізмів виведення їх із сівозміни та переведення в категорію маргінальних. Дослідженнями Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків (ІБКіЦБ) НААН, зокрема в межах міжнародного проєкту «Horizon 2020» – MAGIC, обґрунтовано доцільність вирощування технічних культур на таких територіях. Визначено, що культивування багаторічних енергетичних рослин на маргінальних землях є стратегічним ресурсом для формування потенціалу твердого біопалива та досягнення цільових показників Енергетичної стратегії України до 2035 року.

Обговорення

Отримані результати та узагальнення літературних даних підтверджують, що оптимізація технології вирощування є ключовим чинником підвищення продуктивності енергетичних культур. Встановлено, що традиційна сировина для твердого біопалива (деревина, агрорештки) має обмеження через нестабільність ресурсів і низьку якість, що обґрунтовує доцільність вирощування спеціалізованих енергетичних рослин.

Показано, що багаторічні культури, зокрема міскантус, світчграс, сіда та енергетична верба, характеризуються високою продуктивністю та здатністю ефективно використовувати маргінальні землі. При цьому їх вирощування забезпечує не лише стабільний вихід біомаси, але й позитивний екологічний ефект.

Аналіз структури площ в Україні свідчить про недостатній рівень розвитку енергетичних плантацій порівняно з їх потенціалом, що відкриває перспективи для розширення виробництва біопалива. Водночас зростання інтересу до міскантуса та інших культур зумовлене їх високою енергетичною ефективністю.

Таким чином, розвиток біоенергетики в Україні доцільно пов'язувати з розширенням площ під багаторічними енергетичними культурами, оптимізацією технологій їх вирощування та використанням малопродуктивних земель.

Висновки

Забезпечення законодавчо закріплених показників стабілізації енергетичного сектору України потребує залучення до біоенергетичного обігу 1,0–1,5 млн га земель до 2030–2035 рр. відповідно. Відсутність чіткої сегментації площ за видами рослин пояснюється необхідністю проведення комплексного агроекологічного моніторингу та оцінки локальних ґрунтових різновидів. Водночас науково обґрунтованим є диференційований підхід до вибору біотипів залежно від гідротермічного коефіцієнта території: вологолюбні культури (міскантус гігантський, верба) демонструють вищу продуктивність у зонах достатнього зволоження, тоді як ксерофітні види (світчграс, сіда та тополя чорна) є більш адаптивними до умов недостатнього водоспоживання.

Подяки. Дослідження виконано в межах наукового проєкту, що фінансується Міністерством освіти і науки України (№ 0126U002147 від 01.02.2026 р.). Автор висловлює щирі подяки МОН України за фінансову підтримку та сприяння у проведенні наукових досліджень.

Список використаної літератури

- Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю. та ін. Перспективні культури для біоенергетики України. *Аграрні інновації*. 2022. № 11. С. 5–15. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.1>
- Гелетука Г. Г., Железна Т. А., Драгнев С. В. Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні. *Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України*. 2018. № 20. [Електронний ресурс]. URL: <https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2018/05/position-paperuabio-20-ua.pdf> (дата звернення: 12.01.2026).

Державна служба статистики України. Енергетичний баланс України за 2020 рік : експрес-випуск. Київ, 2021.

Калетнік Г. М. Виробництво та використання біопалив : підручник. Вінниця : Консоль, 2015. 408 с.

Національна економічна стратегія до 2030 року. [Електронний ресурс]. URL: <https://nes2030.org.ua/> (дата звернення: 12.01.2026).

Писаренко П. В., Курило В. А., Кулик М. І. Агробіомаса та фітомаса енергетичних культур для виробництва біопалива. Розробка та вдосконалення енергетичних систем з урахуванням наявного потенціалу альтернативних джерел енергії : монографія. Полтава : ТОВ НВП «Укрпромторгсервіс», 2017. С. 258–266.

Присяжнюк О., Малярченко О.А., Мусіч В., Гончарук О., Кононюк Н., Черняк М., Завгородня С., Кулик Г. Вибір біоенергетичних культур для задоволення потреб України із заміщення викопних видів палива. *Біоенергетика*, 2024. № 2, С. 27–31. <https://doi.org/10.47414/be.2024.No2.pp27-31>

Чумбей В. В., Заїка В. К., Шеленко Д. І. та ін. Агробіологічний та енергетичний потенціал багаторічних енергетичних культур на малородючих ґрунтах. *Таврійський науковий вісник*. 2025. № 144. С. 229–236. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.144.29>

Alexopoulou E., Christou M., Eleftheriadis I. Role of 4F cropping in determining future biomass potentials, including sustainability and policy related issues. Biomass Department of CRES, 2010. [Електронний ресурс]. URL: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/biomass_futures_future_biomass_potentials_role_of_4f_cropping_en.pdf (дата звернення: 12.01.2026).

Gupta V. K., Tuohy M. G., Kubicek C. P., Saddler J. Bioenergy research: advances and applications : textbook. Oxford, 2014. 500 p.

Honcharuk I., Babyna O. Dominant trends of innovation and investment activities in the development of alternative energy sources. *East European Scientific Journal*. 2020. № 2 (54). P. 6–12.

Hryhoriv Ya., Butenko A., Kozak M. et al. Structure component and yielding capacity of *Camelina sativa*. *Agriculture & Forestry*. 2022. Vol. 68, Issue 3. P. 93–102. DOI: 10.17707/AgricultForest.68.3.07

Hryhoriv Ya., Lyshenko M., Butenko A. et al. Competitiveness and advantages of *Camelina sativa* on the market of oil crops. *Ecological Engineering and Environmental Technology*. 2023. Vol. 24, № 4. P. 97–103. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/161956>

Hryhoriv Ya., Butenko Ye., Kabanets V. et al. Prospectives of growing energy crops for the production of different types of biofuel. *Ecological Engineering and Environmental Technology*. 2024. Vol. 25, № 5. P. 191–197. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/185710>

Juodka R., Nainienė R., Juškieienė V. et al. *Camelina* (*Camelina sativa* (L.) Crantz) as feedstuffs in meat type poultry diet: a source of protein and n-3 fatty acids. *Animals*. 2022. Vol. 12, № 3. 295. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12030295>

Kulyk M., Kalynychenko V., Pryshliak N., Pryshliak V. Efficiency of using biomass from energy crops for sustainable bioenergy development. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020. Vol. XI, № 5 (45). P. 1040–1053. DOI: [https://doi.org/10.14505/jemt.v11.5\(45\).02](https://doi.org/10.14505/jemt.v11.5(45).02)

Riaz R., Ahmed I., Sizmaz O., Ahsan U. Use of *Camelina sativa* and by-products in diets for dairy cows: a review. *Animals*. 2022. Vol. 12, № 9. 1082. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12091082>

References

Vozhehova, R. A., Lavrynenko, Yu. O., Marchenko, T. Yu., Mishchenko, S. V., Piliarska, O. O., & Bazylenko, Ye. O. (2022). Perspektyvni kultury dlia bioenerhetyky Ukrainy [Promising crops for bioenergy of Ukraine]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian Innovations]*, 11, 5–15. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.1> [in Ukrainian].

Heletukha, H. H., Zheliezna, T. A., & Drahnev, S. V. (2018). Analiz mozhlyvostei vyrobnytstva ta vykorystannia bryketiv z ahrobiomasy v Ukraini [Analysis of possibilities for production and use of briquettes from agricultural biomass in Ukraine]. *Analitichna zapyska Bioenerhetychnoi asotsiatsii Ukrainy* [Analytical note of Bioenergy Association of Ukraine], 20. [Electronic resource]. URL: <https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2018/05/position-paperuabio-20-ua.pdf> (access date 12.01.2026) [in Ukrainian].

State Statistics Service of Ukraine. (2021). *Enerhetychnyi balans Ukrainy za 2020 rik: ekspres-vypusk* [Energy balance of Ukraine for 2020: express issue]. Kyiv [in Ukrainian].

- Kaletnik, H. M. (2015). *Vyrobnytstvo ta vykorystannia biopalyv: pidruchnyk* [Production and use of biofuels: textbook]. Vinnytsia: Konsol [in Ukrainian].
- Cabinet of Ministers of Ukraine. (2021). *Natsionalna ekonomichna stratehiia do 2030 roku* [National Economic Strategy until 2030]. [Electronic resource]. URL: <https://nes2030.org.ua/> (access date 12.01.2026) [in Ukrainian].
- Pysarenko, P. V., Kurylo, V. L., & Kulyk, M. I. (2017). Ahrobiomasa ta fitomasa enerhetychnykh kultur dlia vyrobnytstva biopalyva [Agrobiomass and phytomass of energy crops for biofuel production]. In *Rozrobka ta vdoshkonalennia enerhetychnykh system* [Development and improvement of energy systems] (pp. 258–266). Poltava: Ukrpromtorhservis [in Ukrainian].
- Prysiashniuk, O. I., Maliarenko, O. A., Musich, V. V., Honcharuk, O. M., Koniuk, N. O., Cherniak, M. O., Zahorodnia, S. V., & Kulyk, H. A. (2024). Vybir bioenerhetychnykh kultur dlia zadovolenia potreb Ukrainy iz zamishchennia vykopnykh vydiv palyva [Selection of bioenergy crops to meet Ukraine's needs for replacing fossil fuels]. *Bioenerhetyka [Bioenergy]*, 2, 27–31. <https://doi.org/10.47414/be.2024.No2.pp27-31> [in Ukrainian].
- Chumbei, V. V., Zaika, V. K., Shelenko, D. I., Dmytryk, P. M., Husak, V. V., & Turak, O. Yu. (2025). Ahrobiolohichni ta enerhetychni potentsial bahatorichnykh enerhetychnykh kultur na malorodiuchykh gruntakh [Agrobiological and energy potential of perennial energy crops on low-fertility soils]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Tavria Scientific Bulletin]*, 144, 229–236. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.144.29> [in Ukrainian].
- Alexopoulou, E., Christou, M., & Eleftheriadis, I. (2010). *Role of 4F cropping in determining future biomass potentials, including sustainability and policy related issues*. Biomass Department of CRES. [Electronic resource]. URL: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/biomass_futures_future_biomass_potentials_role_of_4f_cropping_en.pdf (access date 12.01.2026) [in English].
- Gupta, V. K., Tuohy, M. G., Kubicek, C. P., & Saddler, J. (2014). *Bioenergy research: advances and applications*. Oxford [in English].
- Honcharuk, I., & Babyna, O. (2020). Dominant trends of innovation and investment activities in the development of alternative energy sources. *East European Scientific Journal*, 2(54), 6–12 [in English].
- Hryhoriv, Ya., Butenko, A., Kozak, M., Rozhko, V., Karpenko, O., Tatarynova, V., Bondarenko, O., Nozdrina, N., Stavytskyi, A., & Bordun, R. (2022). Structure component and yielding capacity of *Camelina sativa*. *Agriculture & Forestry*, 68(3), 93–102. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.68.3.07> [in English].
- Hryhoriv, Ya., Lyshenko, M., Butenko, A., Nechyporenko, V., Makarova, V., Mikulina, M., Bahorka, M., Tymchuk, D. S., Samoshkina, I., & Torianyk, I. (2023). Competitiveness and advantages of *Camelina sativa* on the market of oil crops. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 24(4), 97–103. <https://doi.org/10.12912/27197050/161956> [in English].
- Hryhoriv, Ya., Butenko, Ye., Kabanets, V., Filon, V., Kriuchko, L., Bondarieva, L., Mikulina, M., Yevtushenko, Ye., Polyvanyi, A., & Kovalenko, V. (2024). Prospectives of growing energy crops for the production of different types of biofuel. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 25(5), 191–197. <https://doi.org/10.12912/27197050/185710> [in English].
- Juodka, R., Nainienė, R., Juškieienė, V., Juška, R., Leikus, R., Kadžienė, G., & Stankevičienė, D. (2022). *Camelina (Camelina sativa (L.) Crantz)* as feedstuffs in meat type poultry diet: a source of protein and n-3 fatty acids. *Animals*, 12(3), 295. <https://doi.org/10.3390/ani12030295> [in English].
- Kulyk, M., Kalynychnenko, V., Pryshliak, N., & Pryshliak, V. (2020). Efficiency of using biomass from energy crops for sustainable bioenergy development. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 11(5), 1040–1053. [https://doi.org/10.14505/jemt.v11.5\(45\).02](https://doi.org/10.14505/jemt.v11.5(45).02) [in English].
- Riaz, R., Ahmed, I., Sizmaz, O., & Ahsan, U. (2022). Use of *Camelina sativa* and by-products in diets for dairy cows: a review. *Animals*, 12(9), 1082. <https://doi.org/10.3390/ani12091082> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 21.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 16
Український журнал природничих наук
№ 16

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 635.004:635.5

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.21>

ПРОДУКТИВНІСТЬ РУКОЛИ ЗА РІЗНИХ ВАРІАНТІВ ДОСВІЧУВАННЯ В КУЛЬТИВАЦІЙНИХ СПОРУДАХ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ

Б. В. Матвійчук¹, Н. Г. Матвійчук², Л. Г. Савченко³,
О. О. Любарська⁴, Б. Р. Костенко⁵

*Зростання ролі технологій контролюваного середовища вирощування та потреба в оптимізації світлового режиму як ключового чинника регуляції фотосинтетичної продуктивності листових овочевих культур визначають сучасну наукову й практичну значущість досліджень у цьому напрямі. Рукола (*Eruca sativa* L.) характеризується високою пластичністю до спектрального складу світла, що робить її перспективним об'єктом для вдосконалення режимів світлодіодного досвічування з метою підвищення врожайності та збереження якості продукції в умовах закри-*

¹ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри ботаніки,
біоресурсів та збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: bogdanmatviychuk@ukr.net
ORCID: 0000-0002-7872-2420

² кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри ботаніки,
біоресурсів та збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: natamatviychuk400@ukr.net
ORCID: 0000-0003-2226-814X

³ кандидат історичних наук,
доцент кафедри машиновикористання та сервісу технологічних систем
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: slgu@ukr.net
ORCID: 0000-0002-7689-4982

⁴ здобувач першого бакалаврського рівня вищої освіти
ОП «Тепличне господарство»
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: lybik@i.ua
ORCID: 0009-0009-1714-7037

⁵ здобувач першого бакалаврського рівня вищої освіти
ОП «Тепличне господарство»
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: kostenko.bogdan2004@gmail.com
ORCID: 0009-0005-5208-7034

того ґрунту. Дослідження проводили у 2023–2024 рр. в теплиці ФОП «Green Farm» за гідропонної технології вирощування з повним контролем параметрів мікроклімату та живлення. Об'єктами були п'ять сортів руколи: Грація, Триція, Агрис, Либідь, Сицилія. Вивчали вплив трьох варіантів LED-освітлення (460–620–660 нм) з постійною часткою синього світла (25%) та різним співвідношенням червоних ділянок спектра. Контролем слугували рослини, вирощені за природного освітлення. Оцінювали біометричні показники, площу листової поверхні та накопичення сирої та сухої біомаси до фази технічної зрілості (кущіння). Встановлено, що найбільш ефективним для більшості сортів є спектральне співвідношення 460–620–660 нм (%) 25–25–50, яке забезпечило максимальні показники росту та врожайності. Варіант 25–0–75 виявився найменш ефективним і спричинив істотне зниження біомаси у всіх сортів. Підвищення частки короткохвильового червоного випромінювання стимулювало швидше формування листового апарату на ранніх етапах розвитку (особливо у сорту Либідь). У сортів Грація та Сицилія спостерігалось тимчасове пригнічення проростання, однак до фази кущіння їх асиміляційна поверхня перевищувала контроль на 40–90%. Довгохвильове червоне світло мало найбільш виражений пригнічувальний ефект: рослини не досягали фази кущіння, а накопичення біомаси відбувалося у п'ять разів повільніше за контроль. Змішаний червоний спектр сприяв підвищенню врожайності (особливо у сортів Грація та Агрис), проте супроводжувався зниженням вмісту фотосинтезуючих пігментів і вторинних метаболітів. Отримані результати підтверджують необхідність оптимізації спектрального складу досвічування з урахуванням сортових особливостей руколи та балансу між кількісними і якісними показниками продукції.

Ключові слова: рукола, фотосинтетична продуктивність, світлодіодне досвічування, спектральний склад світла, закритий ґрунт, гідропонне вирощування, врожайність.

RUGALA PRODUCTIVITY UNDER DIFFERENT OPTIONS OF CULTIVATION IN CLOSED GROUND CULTIVATION STRUCTURES

**B. V. Matviychuk, N. G. Matviychuk, L. G. Savchenko,
O. O. Lyubarska, B. R. Kostenko**

The growing role of controlled environment technologies and the need to optimize the light regime as a key factor in regulating the photosynthetic productivity of leafy vegetable crops determine the current scientific and practical significance of research in this area. Arugula (*Eruca sativa* L.) is characterized by high plasticity to the spectral composition of light, which makes it a promising object for improving LED supplementary lighting regimes in order to increase yield and preserve product quality in closed soil conditions. The research was conducted in 2023–2024 in the greenhouse of the Green Farm private enterprise using hydroponic cultivation technology with full control of microclimate and nutrition parameters. The objects were five varieties of arugula: Gracia, Tricia, Agris, Lybid, Sicilia. The effect of three variants of LED lighting (460–620–660 nm) with a constant proportion of blue light (25%) and different ratios of red parts of the spectrum was studied. Plants grown under natural light served as controls. Biometric indicators, leaf surface area, and accumulation of fresh and dry biomass to the technical maturity phase (tillering) were evaluated. It was found that the most effective for most varieties is the spectral ratio 460–620–660 nm (%) 25–25–50, which provided maximum growth and yield. The 25–0–75 variant was the least effective and caused a significant decrease in biomass in all varieties. An increase in the proportion of short-wave red radiation stimulated faster formation of the leaf apparatus at the early stages of development (especially in the Lybid variety). In the varieties Gratsia and Siciliya, temporary inhibition of germination was observed, however, by the tillering phase, their assimilation surface exceeded the control by 40–90%. Long-wave red light had the most pronounced inhibitory effect: plants did not reach the tillering phase, and biomass accumulation occurred five times slower than in the control. The mixed red spectrum contributed to an increase in yield (especially in the varieties Gracia and Agris), but was accompanied by a decrease in the content of photosynthetic pigments and secondary metabolites. The results obtained confirm the need to optimize the spectral composition of supplementary lighting, taking into account the varietal characteristics of arugula and the balance between quantitative and qualitative indicators of production.

Key words: arugula, photosynthetic productivity, LED supplementary lighting, spectral composition of light, closed soil, hydroponic cultivation, yield.

Вступ

Розвиток теплиць і тепличних комплексів останніми роками значно інтенсифікується, що зумовлено, зокрема, сучасними кліматичними змінами. До культур, вирощування яких є доцільним в умовах захищеного ґрунту, належать томат, огірок, перець, редька, салатні культури, пряні трави, а також різноманітні види квітково-декоративної продукції. Водночас кожна з перелічених культур характеризується специфічними особливостями росту та вегетаційного розвитку, що обумовлює необхідність застосування диференційованих технологій їх вирощування (Міненко та ін., 2016; Савченко & Савченко, 2020; Nitu et al., 2025). Але загальним для всіх технологій у середовищі закритого ґрунту є основна його перевага – можливість контролю параметрів мікроклімату, що значною мірою впливають на ріст рослин. До таких параметрів можна віднести: температура повітря та середовища, де знаходиться корінь, вологість повітря, насиченість повітря CO₂, освітленість. Всі ці параметри, а також їх комбінації значною мірою впливають на розвиток рослин і як наслідок на їх урожайність (Fu et al., 2012; Waqas et al., 2021; Kalia, 2024).

Ключовим параметром мікроклімату, що визначає інтенсивність росту та розвитку рослин, зокрема салатних культур і прямих трав, є рівень освітленості. Для зазначених культур особливого значення набувають якісні характеристики листової маси, включаючи її вітамінний склад. Освітленість безпосередньо впливає на перебіг фотосинтетичних процесів і, відповідно, на формування врожайності. Водночас технологічний процес ускладнюється необхідністю запобігання накопиченню нітратної форми азоту в листках, що має негативний вплив на здоров'я людини (Cometti et al., 2021; Ferron-Carrillo et al., 2021; Li et al., 2023; Nitu et al., 2025).

Ефективність фотосинтезу є ключовим фактором, що визначає продуктивність листових овочевих культур у системах контрольованого середовища вирощування (СЕА). У закритому ґрунті освітлення забезпечує основне джерело енергії для фотосинтетичних процесів, що безпосередньо впливає на накопичення біомаси, морфологічний розвиток та функціональний стан рослин. Сучасні системи освітлення на основі світлодіодів (LED) дозволяють тонко налаштовувати спектральний склад, інтенсивність та фотоперіод, що стають вирішальними пара-

метрами для оптимізації фотосинтетичної продуктивності культур, таких як рукола (*Eruca sativa* Mill.) (Jose et al., 2020; Zhou & Wu, 2025).

У процесі аналізу впливу освітлення на ріст і розвиток рослин доцільно виокремити низку параметрів освітленості, що мають визначальне значення під час розроблення методів і систем освітлення, а також встановлення оптимальної тривалості світлового періоду (Jose et al., 2020; Waqas et al., 2021; Kaplan et al., 2024).

Параметри освітлення також взаємодіють із фотоперіодом і загальною кількістю фотосинтетично активного випромінювання (PPFD), що формує денний світловий інтеграл (DLI). Останні дослідження вказують, що оптимальна інтенсивність світла та тривалість фотоперіоду можуть підвищувати накопичення сухої маси та загальну продуктивність фотосинтезу у руколи, зокрема завдяки підтримці стабільної концентрації хлорофілу та уповільненню процесів фотодеградації (Li et al., 2023).

Аналіз наукових джерел дозволив ідентифікувати ключові фактори мікроклімату, що визначають продуктивність фотосинтетичних процесів у тепличних рослин. У низці досліджень вивчено вплив окремих параметрів мікроклімату на ріст і розвиток рослин, у результаті чого встановлено найбільш значущі чинники та їх кількісні характеристики для конкретних культур. Крім того, в окремих наукових працях розглянуто питання комплексного впливу параметрів мікроклімату на фізіологічні процеси рослин (Fu et al., 2012; Jin et al., 2023; Chowdhury et al., 2024).

Незважаючи на наявні дослідження щодо впливу світла на ріст руколи, питання оптимального спектрального складу, фотоперіоду та діапазону інтенсивності освітлення для максимізації фотосинтетичної продуктивності й врожайності саме в умовах закритого ґрунту залишаються недостатньо вивченими. У зв'язку з цим, систематичне дослідження варіантів досвічування салатних рослин стає актуальним завданням для сучасної біотехнології рослинництва, особливо в умовах інтенсивних агротехнологій СЕА, де вирощування рослин залежить від оптимізації освітлення як основного фактору фотосинтезу.

Матеріал і методи

Експериментальні дослідження проводилися у дослідній теплиці ФОП «Green Farm» протягом 2023–2024 років. Вирощування сільськогосподарських культур здійснюва-

лося із застосуванням гідропонного методу. Як основне технологічне обладнання використовували салатну лінію виробництва Viemose DGS A/S (Данія) та заливні столи. Контроль параметрів температури й відносної вологості повітря забезпечувався за допомогою комбінованого датчика RTF-6 виробництва Senmatic A/S (Данія). Для подачі маточного розчину застосовувався зрошувальний міксер AMI Penta виробництва Senmatic A/S (Данія), що дало змогу здійснювати повний контроль параметрів мікроклімату та оперативно коригувати рецептуру живильного розчину.

Вирощування рослин проводили на верховому торфі, попередньо нейтралізованому та збагаченому комплексом поживних речовин. У дослідженнях використовувався субстрат із такими характеристиками: кислотність (pH) – 5,5–6,5; вміст азоту (N) – 120–160 мг/л; фосфору (P₂O₅) – 160–200 мг/л; калію (K₂O) – 190–240 мг/л.

Для висаджування рослин використовували вегетаційні посудини об'ємом 0,5 л, у кожній з яких розміщували по чотири рослини. Контрольну групу становили рослини, вирощені в умовах оранжереї за природного освітлення.

Вибір об'єкта дослідження зумовлений високою пластичністю цієї культури, яка характеризується швидкою реакцією на зміни спектрального складу освітлення. Рукола представлена значною кількістю сортів, що відрізняються між собою морфологічними ознаками; у межах дослідження було використано п'ять сортів цієї культури.

Як базову поливну воду застосовували воду з такими показниками: кислотність (pH) – 6,9; електропровідність (ЕС) – <0,59. Вміст окремих елементів, що перевищують нормативні значення для поливної води та підлягають урахуванню при формуванні рецептури маточного розчину, становив: калій – 1,54 мкмоль/л; магній – 0,74 мкмоль/л; залізо – 16,5 мкмоль/л.

Експеримент проводився із застосуванням штучного освітлення із попередньо визначеним спектральним складом, сформованим у червоній та синій ділянках спектра. Джерелом світла слугували світлодіодні випромінювачі (СВД). У межах дослідження було реалізовано три варіанти штучного освітлення. В усіх варіантах частка синього спектра залишалася сталою і становила 25 %, тоді як сумарна частка червоного випромінювання відрізнялася залежно від варіанту дослідження.

Схема дослідження

Фактор А (сорт)	Фактор В (освітлення)
Грація	СВД 460–620–660 Нм (%)
Триція	25–75–0
Агрис	СВД 460–620–660 Нм (%)
Либідь	25–0–75
Сицилія	СВД 460–620–660 Нм (%)
	25–25–50

Вирощування рослин здійснювали до досягнення технологічної зрілості, яка наставала у фазі кущіння. Упродовж усього періоду індивідуального розвитку проводили систематичні спостереження за процесами росту та особливостями розвитку досліджуваних об'єктів. З визначеною періодичністю здійснювали вимірювання висоти рослин, а також визначали площу листової поверхні та біомасу. Дослід було проведено у чотирикратній повторності.

Результати та їх обговорення

Фізіологічні процеси рослин залежать не лише від інтенсивності світла, а й від його спектральної якості. Продуктивність рослин безпосередньо пов'язана з перебігом цих процесів. У фотоморфогенезі особливе значення має співвідношення червоного та синього спектрів. Червоний спектр охоплює широку область довжин хвиль, тому випромінювання червоного спектра з різними довжинами хвиль по-різному впливає на фізіологічні процеси рослин, що, у свою чергу, визначає їх ріст і розвиток (Ferron-Carrillo et al., 2021).

Застосування світлодіодних випромінювачів надало можливість здійснити дослідження впливу вузькоспектрального освітлення на фізіологічні процеси рослин. Було проведено вивчення впливу різних ділянок червоного спектра на морфогенез руколи (*Eruca sativa* L.) та на продуктивні процеси цієї культури.

У таблиці 1 наведено результати дослідження впливу різних спектральних режимів світлодіодного досвічування (СВД 460–620–660 нм) на показники рослин різних сортів руколи. Контрольним варіантом були рослини без додаткового досвічування, а експериментальні варіанти передбачали різне співвідношення спектрів: 25–75–0, 25–0–75 та 25–25–50 (%). Дані подані у вигляді середнього значення ± похибка.

У сорту Триція найвищий показник зафіксовано у варіанті 25–25–50 (32,5 ± 0,7 г/горщ.), що суттєво перевищує контроль (21,1 ± 0,5 г/горщ.). Найнижче значення відмічено у варіанті 25–0–75 (7,3 ± 0,1 г/горщ.).

Таблиця 1

Накопичення наземної маси руколи (*Eruca sativa* L.) за впливу досвічування, г/горщ

Сорт руколи	Контроль	Варіант досвічування		
		СВД 460–620–660 Нм (%) 25–75–0	СВД 460–620–660 Нм (%) 25–0–75	СВД 460–620–660 Нм (%) 25–25–50
Триція	21,1±0,5	23,4±0,5	7,3±0,1	32,5±0,7
Грація	10,6±0,4	9,8±0,1	4,5±0,1	11,7±0,2
Либідь	19,8±0,5	15,4±0,4	7,1±0,2	20,8±0,4
Сицилія	16,9±0,3	15,1±0,3	13,1±0,4	22,6±0,9
Агрис	18,9±0,8	14,1±0,2	4,6±0,1	23,6±0,6

У сорту Грація показники загалом нижчі порівняно з іншими сортами. Максимальне значення спостерігалось у варіанті 25–25–50 (11,7±0,2 г/горщ.), що дещо перевищує контроль (10,6±0,4 г/горщ.), тоді як мінімальне – у варіанті 25–0–75 (4,5±0,1 г/горщ.).

У сорту Либідь найвищий показник відзначено у варіанті 25–25–50 (20,8±0,4 г/горщ.), що трохи перевищує контроль (19,8±0,5 г/горщ.). Варіант 25–0–75 також характеризувався зниженням показника (7,1±0,2 г/горщ.).

Сорт Сицилія продемонстрував позитивну реакцію на спектр 25–25–50 (22,6±0,9 г/горщ.) порівняно з контролем (16,9±0,3 г/горщ.). Найменше значення зафіксовано у варіанті 25–0–75 (13,1±0,4 г/горщ.), хоча зниження не було таким різким, як у попередніх сортів.

У сорту Агрис також найвищий показник отримано у варіанті 25–25–50 (23,6±0,6 г/горщ.), що значно перевищує контроль (18,9±0,8 г/горщ.). Найнижче значення відмічено у варіанті 25–0–75 (4,6±0,1 г/горщ.).

Загалом можна зробити висновок, що найбільш ефективним спектральним співвідношенням для більшості досліджуваних сортів руколи є варіант досвічування СВД 460–620–660 Нм (%), 25–25–50, який забезпечив найвищі показники. Натомість варіант досвічування СВД 460–620–660 Нм (%), 25–0–75 виявився найменш ефективним і у всіх сортів спричинив істотне зниження досліджуваного показника порівняно з контролем.

Інший аспект впливу світла на продуктивність фотосинтезу руколи пов'язаний із тривалістю освітлення (фотоперіодом). Дослідження рослин Brassicaceae, до яких належить рукола, свідчать про можливість підвищення урожайності та накопичення біоактивних сполук при застосуванні безперервного (continuous) освітлення у порівнянні

з традиційним денним циклом. Такі умови можуть сприяти як збільшенню хлорофільних пігментів, так і активності антиоксидантних ферментів у молодих рослинних органах, що є показником адаптації до світлового стресу та підвищеної фотосинтетичної активності (Min et al., 2021; Voutsinos et al., 2021).

Проведені експерименти дозволили встановити, що на характер фізіологічних процесів руколи істотно впливає якість червоного світла. При збільшенні кількості короткохвильового випромінювання червоної частини спектра на початкових етапах розвитку листовий апарат у зеленелитовій масі формувалася швидше. Особливо помітно це виявлялося у сорту Либідь (рис. 1 а). На наступних етапах відмінності ставали менш суттєвими. Але до куціння рослини даного сорту, які вирощувалися при світлі з короткохвильовою червоною складовою, накопичували біомасу не гірше, ніж контрольні варіанти, вирощувані при природному освітленні.

Деякі сорти руколи, зокрема «Грація» та «Сицилія», на ранніх етапах розвитку демонстрували уповільнений ріст (рис. 1б). Встановлено, що короткохвильове червоне світло пригнічувало проростання рослин. Проте до фази куціння рослини, вирощені при короткохвильовому та змішаному червоному освітленні, формували асиміляційну поверхню, яка перевищувала аналогічні показники контрольної групи на 40–90 %. Водночас усі сорти, вирощені за таких умов, втратили характерне забарвлення листків, набувши зелений відтінок, притаманний «тіньовим» листям.

Довгохвильове червоне світло діяло гнітюче на всі сорти руколи. Жодне з досліджених рослин не дійшло до фази куціння, а листова поверхня була істотно менше.

Фаза технічної зрілості (куціння) визначалася за розвитком контрольних рослин. Більшість об'єктів, підданих дії короткохвильового та змішаного червоного спектра,

досягли куштиння одночасно з контрольними рослинами. Відставання було зафіксоване лише у сорту руколи «Грація», вирощеного в умовах змішаного червоного освітлення, де до фази куштиння дійшли лише 30 % рослин цієї дослідної групи.

Дослідження інших науковців з вирощування руколи під різними спектральними умовами LED-освітлення показали, що співвідношення червоного та синього світла суттєво впливає на фізіологічні характеристики рослин. Зокрема, в експерименті з контролем спектральної якості світла визначено, що рослини руколи, вирощені під LED-освітленням з певним співвідношенням червоного і синього спектра, мали вищі показники біомаси, вмісту хлорофілу й сухої маси порівняно з іншими варіан-

тами спектру, що прямо пов'язано з фотосинтетичною активністю листків (Zhou & Wu, 2025).

Аналіз біометричних показників врожайності (рис. 2) продемонстрував перевагу змішаного червоного спектра порівняно з короткохвильовим. Окреме застосування короткохвильового або довгохвильового червоного світла призводило до пригнічення росту рослин та зниження накопичення біомаси. При цьому довгохвильове випромінювання мало більш виражений гнітючий ефект, оскільки біомаса рослин накопичувалася приблизно в п'ять разів повільніше порівняно з контрольним варіантом.

Сорти «Грація» та «Агрис» продемонстрували збільшення біомаси під дією світла змішаного спектра порівняно з контрольним



Рис. 1. Загальний вигляд куща руколи сортів «Либідь» (а) та «Грація» (б), (15 день)

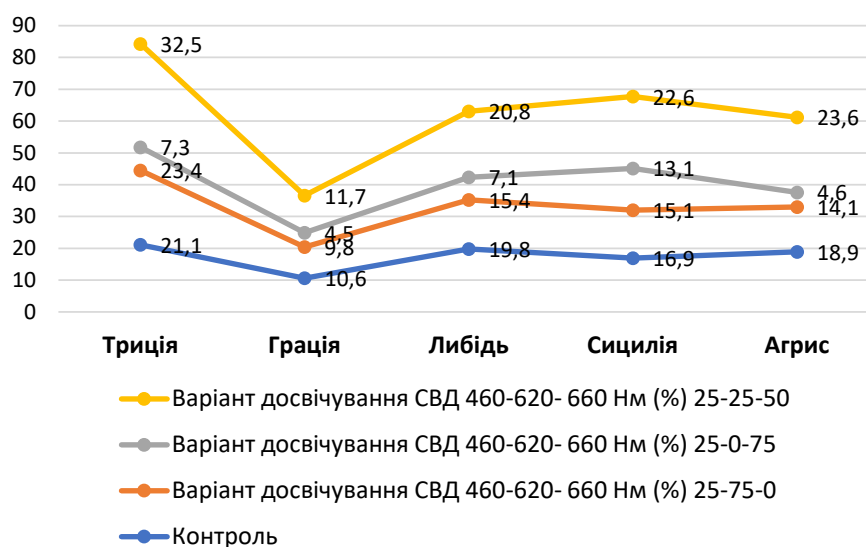


Рис. 2. Зміна приросту зеленої маси залежно від способів досвічування, г/горщ.

варіантом. Водночас спостерігалось погіршення якісних показників продукції, що проявлялося у зниженні вмісту фотосинтезуючих пігментів та вторинних метаболітів.

Науковці Нанкінського сільськогосподарського університету (Китай) провівши дослідження впливу інтенсивності світла на ріст і розвиток салатних культур, підтверджують, що вища інтенсивність світла сприяла підвищенню їх харчової цінності, що характеризується нижчим рівнем нітратів та вмістом розчинного білка. Аналіз головних компонентів показав негативну колінеарність між вмістом нітратів та вмістом розчинного білка та V_c . Результати показали, що обробка T2G2 показала вищу висоту рослин, біомасу та чисту швидкість фотосинтезу, тоді як T1G2 призвів до зменшення площі листя та нижчої максимальної фотохімічної ефективності фотосистеми II (F_v/F_m) порівняно з T1G1 (Chen et al., 2021).

Проведене дослідження впливу умов росту та розвитку рослин дозволяє зробити висновок, що ключовим процесом, який визначає формування врожаю, є фотосинтез. Інтенсивність і ефективність фотосинтетичних процесів, у свою чергу, значною мірою залежать від ряду параметрів мікроклімату, серед яких першочергове значення має освітлення.

Висновки

На основі проведених досліджень встановлено, що спектральний склад досвічування є визначальним фактором регуляції фотосинтетичної продуктивності та формування біомаси руколи в умовах культивацийних споруд закритого ґрунту. Найбільш ефективним для більшості досліджуваних сортів виявився варіант досвічування СВД 460–620–660 нм (%) у співвідношенні 25–25–50, який забезпечив максимальні показники росту, асиміляційної поверхні та врожайності.

Натомість варіант СВД 460–620–660 нм (%) 25–0–75 продемонстрував найменшу ефективність, спричинивши істотне зниження досліджуваних показників у всіх сортів порівняно з контролем. Отримані результати свідчать про негативний вплив надмірної частки довгохвильового червоного світла на ріст і розвиток рослин, що проявлялося у пригніченні формування

листової поверхні та значному зменшенні біомаси.

Встановлено, що якість червоного світла істотно впливає на перебіг фізіологічних процесів руколи. Збільшення частки короткохвильового випромінювання червоної частини спектра на ранніх етапах онтогенезу сприяло прискореному формуванню листового апарату, особливо у сорту Либідь. На подальших етапах розвитку різниця між варіантами освітлення зменшувалася, проте рослини, вирощені за умов короткохвильового та змішаного червоного освітлення, накопичували біомасу на рівні або вище контрольних варіантів.

У сортів Грація та Сицилія на початкових фазах розвитку спостерігалось певне пригнічення проростання під впливом короткохвильового червоного світла, однак до фази куціння їх асиміляційна поверхня перевищувала контроль на 40–90%. Разом із тим у всіх сортів за умов досвічування червоним спектром відмічено зміну морфологічних ознак – зниження інтенсивності характерного забарвлення та формування ознак «тіньових» листків.

Довгохвильове червоне світло виявило найбільш пригнічуючу дію: жодна рослина не досягла фази куціння, а накопичення біомаси відбувалося у п'ять разів повільніше, ніж у контрольному варіанті. Біометричний аналіз підтвердив перевагу змішаного спектра червоного світла над його монохроматичними складовими.

Сорти Грація та Агрис продемонстрували підвищення біомаси під впливом змішаного спектра порівняно з контролем, однак це супроводжувалося зниженням якісних показників продукції – зменшенням вмісту фотосинтезуючих пігментів та вторинних метаболітів.

Отже, оптимізація спектрального складу досвічування повинна враховувати не лише приріст біомаси, а й збереження якісних характеристик продукції. Найбільш збалансованим з точки зору фотосинтетичної продуктивності та формування врожаю виявився варіант СВД 460–620–660 нм (%) 25–25–50, який може бути рекомендований для вирощування більшості досліджених сортів руколи в умовах закритого ґрунту.

Список використаної літератури

Міненко С. В., Савченко В. М., Крот В. В. Аналіз залежності інтенсивності продуктивного фотосинтезу від режимів мікроклімату в індустріальних теплицях. *Вісник ЖНАЕУ*. 2016. 1 (53), т. 1. С. 270–276.

Савченко О.В., Савченко Л.Г. Дослідження залежності продуктивного фотосинтезу рослин від значень параметрів мікроклімату в культиваційних спорудах закритого ґрунту. Матер. І всеукр. студ. наук.-практ. конф. «Теорія і практика сучасної науки очима молоді», 26 березня 2020 р. Харків: ХНТУСГ, 2020. С. 155–156.

Aznar-Sanchez J.A., Velasco-Munoz J.F., Lopez-Felices B., Roman-Sanchez I.M. An Analysis of Global Research Trends on Greenhouse Technology: Towards a Sustainable Agriculture. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. 17(2). 664. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020664>

Chen Z., Shah Jahan M., Mao P., Wang M., Liu X., Guo S. Functional growth, photosynthesis and nutritional property analyses of lettuce grown under different temperature and light intensity. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 2021. 96. P. 53–61. <https://doi.org/10.1080/14620316.2020.1807416>

Chowdhury M., Samarakoon U.C., Altland J.E. Evaluation of hydroponic systems for organic lettuce production in controlled environment. *Front. Plant Sci.* 2024. 15:1401089. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1401089>

Cometti N.N., Martins M.Q., Bremenkamp C.A., Nunes J.A. Nitrate concentration in lettuce leaves depending on photosynthetic photon flux and nitrate concentration in the nutrient solution. *Hortic. Bras.* 2011. 29. 548–553. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000400018>

Ferron-Carrillo F., Guil-Guerrero J.L., Gonzalez-Fernandez M.J., Lyashenko S., Battafarano F., da Cunha-Chiamolera T.P.L., Urrestarazu M. LED Enhances Plant Performance and Both Carotenoids and Nitrates Profiles in Lettuce. *Plant Foods Hum. Nutr.* 2021. 76(2). 210–218. <https://doi.org/10.1007/s11130-021-00894-8>

Fu W., Li P., Wu Y., Tang J. Effects of different light intensities on anti-oxidative enzyme activity, quality and biomass in lettuce. *Hortic. Sci.* 2012. 39. 129–134. <https://doi.org/10.17221/192/2011-HORTSCI>

Jin W., Formiga Lopez D., Heuvelink E., Marcelis L.F. Light use efficiency of lettuce cultivation in vertical farms compared with greenhouse and field. *Food Energy Secur.* 2023. 12. <https://doi.org/10.1002/fes3.391>

Kalia P. Designing Futuristic Vegetable Varieties for Multiple Purposes. In: Genetic Engineering of Vegetable Crops. *CABI: Wallingford, UK*, 2024. 414–430.

Kaplan A., Khan M.N., Hayat K., Iqbal M., Ali B., Wahab S., Wahid N., Kanwal. Coupling environmental factors and climate change: Impacts on plants and vegetation growth patterns in ecologically sensitive regions. In: Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth. *Springer Nature: Cham, Switzerland*, 2024. 307–358. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69417-2_11

Li T., Liu H., Zhou F. Effects of Light Intensity and Photoperiod on the Fresh Locking and Quality of Hydroponic Arugula in the Harvesting Period. *Agronomy*. 2023. 13. 1667. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071666>

Min Q., Marcelis L.F.M., Nicole C.C.S., Woltering E.J. High Light Intensity Applied Shortly Before Harvest Improves Lettuce Nutritional Quality and Extends the Shelf Life. *Front. Plant Sci.* 2021. 12:615355. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.615355>

Nitu O.A., Ivan E.S., Arshad A. Optimizing Microclimatic Conditions for Lettuce, Tomatoes, Carrots, and Beets: Impacts on Growth, Physiology, and Biochemistry Across Greenhouse Types and Climatic Zones. *Int. J. Plant Biol.* 2025. 16(3). 100. <https://doi.org/10.3390/ijpb16030100>

Voutsinos O., Mastoraki M., Ntatsi G., Liakopoulos G., Savvas D. Comparative Assessment of Hydroponic Lettuce Production Either under Artificial Lighting, or in a Mediterranean Greenhouse during Wintertime. *Agriculture*. 2021. 11(6). 503. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060503>

Waqas A., Umair M., Ahmad R.N., Khan K.S. Assessment of crop responses and climatic parameters by developing indigenous hydroponic greenhouses in different regions of Punjab-Pakistan. *Pak. J. Agric. Sci.* 2021. 58. 643–654. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/21.1065>

Zhou F., Wu H. Effects of LED Light Quality on the Growth Characteristics and Nutritional Quality of Hydroponic Arugula. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 2025. 18 (4). 71–77. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20251804.6709>

References

Minenko, S.V., Savchenko, V.M., & Krot, V.V. (2016). Analiz zalezhnosti intensyvnosti produktyvnoho fotosyntezy vid rezhymiv mikroklimatu v industrialnykh teplytsiakh [Analysis of the dependence of the intensity of productive photosynthesis on microclimate regimes in industrial greenhouses]. *Visnyk ZhNAEU [Bulletin of ZhNAEU]*, 1(53), Vol. 1, 270–276 [in Ukrainian].

Savchenko, O.V., & Savchenko, L.H. (2020). Doslidzhennia zalezhnosti produktyvnoho fotosyntezy rosllyn vid znachen parametriv mikroklimatu v kulytvatsiinykh sporudakh zakrytoho gruntu [Study of the dependence of productive photosynthesis of plants on microclimate parameters in protected cultivation structures]. *Materialy I vseukrainskoi studentskoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Teoriia i praktyka suchasnoi nauky ochyma molodi"* [Proceedings of the 1st All-Ukrainian Student Scientific and Practical Conference "Theory and Practice of Modern Science through the Eyes of Youth"]. Kharkiv: KhNTUSG, 155–156 [in Ukrainian].

Aznar-Sanchez, J.A., Velasco-Munoz, J.F., Lopez-Felices, B., & Roman-Sanchez, I.M. (2020). An analysis of global research trends on greenhouse technology: Towards a sustainable agriculture. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(2), 664. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020664> [in English].

Chen, Z., Shah Jahan, M., Mao, P., Wang, M., Liu, X., & Guo, S. (2021). Functional growth, photosynthesis and nutritional property analyses of lettuce grown under different temperature and light intensity. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96, 53–61. <https://doi.org/10.1080/14620316.2020.1807416> [in English].

Chowdhury, M., Samarakoon, U.C., & Altland, J.E. (2024). Evaluation of hydroponic systems for organic lettuce production in controlled environment. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1401089. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1401089> [in English].

Cometti, N.N., Martins, M.Q., Breckenkamp, C.A., & Nunes, J.A. (2011). Nitrate concentration in lettuce leaves depending on photosynthetic photon flux and nitrate concentration in the nutrient solution. *Horticultura Brasileira*, 29, 548–553. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000400018> [in English].

Ferron-Carrillo, F., Guil-Guerrero, J.L., Gonzalez-Fernandez, M.J., Lyashenko, S., Battafarano, F., da Cunha-Chiamolera, T.P.L., & Urrestarazu, M. (2021). LED enhances plant performance and both carotenoids and nitrates profiles in lettuce. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76(2), 210–218. <https://doi.org/10.1007/s11130-021-00894-8> [in English].

Fu, W., Li, P., Wu, Y., & Tang, J. (2012). Effects of different light intensities on antioxidative enzyme activity, quality and biomass in lettuce. *Horticultural Science*, 39, 129–134. <https://doi.org/10.17221/192/2011-HORTSCI> [in English].

Jin, W., Formiga Lopez, D., Heuvelink, E., & Marcelis, L.F. (2023). Light use efficiency of lettuce cultivation in vertical farms compared with greenhouse and field. *Food and Energy Security*, 12. <https://doi.org/10.1002/fes3.391> [in English].

Kalia, P. (2024). Designing futuristic vegetable varieties for multiple purposes. In: Genetic Engineering of Vegetable Crops. *Wallingford, UK: CABI*, 414–430 [in English].

Kaplan, A., Khan, M.N., Hayat, K., Iqbal, M., Ali, B., Wahab, S., Wahid, N., & Kanwal (2024). Coupling environmental factors and climate change: Impacts on plants and vegetation growth patterns in ecologically sensitive regions. In: Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth. *Cham, Switzerland: Springer Nature*, 307–358. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69417-2_11 [in English].

Li, T., Liu, H., & Zhou, F. (2023). Effects of light intensity and photoperiod on the fresh locking and quality of hydroponic arugula in the harvesting period. *Agronomy*, 13, 1667. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071666> [in English].

Min, Q., Marcelis, L.F.M., Nicole, C.C.S., & Woltering, E.J. (2021). High light intensity applied shortly before harvest improves lettuce nutritional quality and extends the shelf life. *Frontiers in Plant Science*, 12, 615355. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.615355> [in English].

Nitu, O.A., Ivan, E.S., & Arshad, A. (2025). Optimizing microclimatic conditions for lettuce, tomatoes, carrots, and beets: Impacts on growth, physiology, and biochemistry across greenhouse types and climatic zones. *International Journal of Plant Biology*, 16(3), 100. <https://doi.org/10.3390/ijpb16030100> [in English].

Voutsinos, O., Mastoraki, M., Ntatsi, G., Liakopoulos, G., & Savvas, D. (2021). Comparative assessment of hydroponic lettuce production either under artificial lighting or in a Mediterranean greenhouse during wintertime. *Agriculture*, 11(6), 503. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060503> [in English].

Waqas, A., Umair, M., Ahmad, R.N., & Khan, K.S. (2021). Assessment of crop responses and climatic parameters by developing indigenous hydroponic greenhouses in different regions of Punjab–Pakistan. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 58, 643–654. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/21.1065> [in English].

Zhou, F., & Wu, H. (2025). Effects of LED light quality on the growth characteristics and nutritional quality of hydroponic arugula. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 18 (4), 71–77. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20251804.6709> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 23.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 19.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



УДК 635.21-02:631.526.32:631.58
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.22>

БІОХІМІЧНІ КОМПОНЕНТИ БУЛЬБ КАРТОПЛІ СОРТУ МИРОСЛАВА ЗА ОРГАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ВИРОЩУВАННЯ В УМОВАХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

Р. В. Невгод¹

У статті наведено результати досліджень впливу органічної системи вирощування на формування біохімічних показників бульб картоплі сорту Мирослава в умовах Полісся України. Польові дослідження проведено у 2023–2025 рр. у стаціонарному досліді Інституту картоплярства НААН (сел. Немішаєве, Київська обл.). Дослід закладено методом розщеплених блоків у триразовому повторенні. Вивчали вплив трьох факторів: фону живлення (подвійний сидерат гірчиці білої; подвійний сидерат + перегній ВРХ 40 т/га), біопрепаратів (Біогран, Біогран + StimPure AA Liquid, StimPure AA Liquid, Гуміфілд, VIT-ORG VG) та біофунгіцидів (Мікохелл, Фітохелл) на вміст сухої речовини, крохмалю, вітаміну С, нітратів, загальних фенолів і хлорогенової кислоти у бульбах картоплі. Встановлено, що органічна система вирощування з використанням сидератів, органічних добрив та біопрепаратів сприяє покращенню біохімічних показників бульб. Вміст сухої речовини у бульбах картоплі змінювався в межах 21,5–25,9 %, крохмалю – 17,2–19,2 %, вітаміну С – 20,6–25,6 мг/100 г, загального вмісту поліфенолів – 66,48–71,98 мг/100 г, хлорогенової кислоти – 64,08–69,87 мг/100 г. Найвищі значення сухої речовини, крохмалю та фенольних сполук отримано за використання біопрепарату «VIT-ORG VG», особливо на фоні сидерації з внесенням перегною. Вміст нітратів у бульбах становив 62,3–79,1 мг/кг, що є значно нижчим порівняно з показниками традиційної технології вирощування (136,8 мг/кг). Дисперсійний аналіз показав достовірний вплив фону живлення, біопрепаратів та біофунгіцидів на формування біохімічних показників бульб картоплі. Отримані результати свідчать, що застосування органічних агротехнологій із використанням сидеральних культур, органічних добрив і мікробіологічних препаратів сприяє підвищенню харчової та біологічної цінності бульб картоплі, збільшенню антиоксидантного потенціалу та зниженню ризику накопичення нітратів.

Ключові слова: картопля, органічне вирощування, біопрепарати, сидерати, суха речовина, крохмаль, вітамін С, фенольні сполуки, хлорогенова кислота, нітрати.

BIOCHEMICAL COMPONENTS OF POTATO TUBERS OF THE MYROSLAVA VARIETY UNDER AN ORGANIC CULTIVATION SYSTEM IN THE POLISSIA ZONE OF UKRAINE

R. V. Nevgod

The article presents the results of research on the influence of an organic cultivation system on the formation of biochemical indicators of potato tubers of the Myroslava variety under the conditions

¹ аспірант

(Інститут картоплярства НААН України, смт Немішаєве, Київська обл.)

e-mail : vs_potato@meta.ua

ORCID: 0009-0008-9497-2172

of the Polissia zone of Ukraine. Field experiments were conducted during 2023–2025 in a stationary experiment at the Institute of Potato Research of NAAS (Nemishaieva, Kyiv region, Ukraine). The experiment was arranged according to a split-plot design with three replications. The effect of three factors was studied: nutrition background (double green manure of white mustard; double green manure + cattle manure 40 t/ha), biological preparations (Biogran, Biogran + StimPure AA Liquid, StimPure AA Liquid, Humifield, VIT-ORG VG), and biofungicides (Mikohelp, Phytohelp) on the content of dry matter, starch, vitamin C, nitrates, total phenolic compounds and chlorogenic acid in potato tubers.

The results showed that the use of organic fertilizers, green manure crops and microbial preparations significantly improved the biochemical quality of potato tubers. The dry matter content ranged from 21.5 to 25.9%, starch content from 17.2 to 19.2%, vitamin C from 20.6 to 25.6 mg/100 g, total phenolic compounds from 66.48 to 71.98 mg/100 g, and chlorogenic acid from 64.08 to 69.87 mg/100 g. The highest values of dry matter, starch and phenolic compounds were obtained with the application of the VIT-ORG VG biological preparation, especially in combination with green manure and cattle manure.

The nitrate content in tubers varied from 62.3 to 79.1 mg/kg, which was significantly lower than in the traditional cultivation technology (136.8 mg/kg). Analysis of variance confirmed a significant influence of nutrition background, biological preparations and biofungicides on the formation of biochemical parameters of potato tubers.

The obtained results indicate that organic cultivation technologies based on the use of green manure crops, organic fertilizers and microbial preparations contribute to improving the nutritional and biological value of potato tubers, increasing their antioxidant potential and reducing nitrate accumulation.

Key words: potato, organic cultivation, biological preparations, green manure, dry matter, starch, vitamin C, phenolic compounds, chlorogenic acid, nitrates.

Вступ

Картопля є одним із найважливіших харчових продуктів у світі. Статистика за 2024 р. говорить про те, що світовий врожай картоплі сягнув 372 млн т, що підтверджує стабільність і важливість цієї культури у продовольчій системі. Дослідження свідчить, що такі країни як Китай (24 % від загального обсягу виробництва), Індія (16 %), Європейський Союз (12 %), Україна (6 % світового виробництва) є ключовими гравцями на світовому ринку картоплі.

Аналіз статистичних даних щодо урожайності картоплі демонструє, що серед світових топ виробників знаходяться США (45 т/га), Канада (понад 40 т/га), ЄС (близько 35 т/га), що відображає високі стандарти картоплярства. Китай, попри найбільшу площу посівів, отримує відносно невисоку врожайність – близько 17 т/га. Індія показує схожі результати з врожайністю 20–22 т/га. В той час, в Україні середня врожайність на рівні 16–18 т/га, що, хоча й менше за показники розвинених країн, все ще є конкурентоспроможним показником. Важливо відзначити, що посівні площі під картоплею в Україні скоротилися за останнє десятиліття, проте це типова тенденція для більшості країн світу (FAO, 2024).

Високоінтенсивні технології вирощування картоплі, що активно впроваджуються у великих агроформуваннях, базуються на застосуванні високих норм мінеральних добрив, широкому використанні пестицидів для контролю шкідників,

хвороб і бур'янів, систематичному зрошенні посівів. Такі агротехнологічні підходи забезпечують суттєве зростання врожайності культури, проте, водночас, обумовлюють низку негативних наслідків. Зокрема, інтенсифікація хімізації виробництва сприяє зниженню екологічної безпечності продукції, накопиченню залишкових кількостей агрохімікатів у бульбах, погіршенню смакових якостей і скороченню термінів зберігання урожаю. В умовах сучасного розвитку аграрного виробництва однією з пріоритетних задач галузі картоплярства є не лише підвищення врожайності, але й забезпечення стабільності збереженості основних біохімічних та смакових показників якості, що обумовлює необхідність переходу до органічних, екологічно збалансованих технологій вирощування.

Картопля (*Solanum tuberosum* L.) займає одне з провідних місць у структурі харчування населення України, поступаючись за споживанням лише хлібобулочним виробам. Середньорічне споживання картоплі на душу населення становить близько 110–120 кг, що є одним із найвищих показників у світі ті (Статистичний ..., 2025). Висока частка картоплі у раціоні зумовлена поєднанням низки чинників: відносною економічною доступністю, високою енергетичною та харчовою цінністю, широкою адаптивною здатністю культури до різних ґрунтово-кліматичних умов, а також історично сформованими кулінарними традиціями.

Картопля є значним джерелом енергії для організму людини, що зумовлено високим вмістом вуглеводів у її бульбах (Ngobese et al., 2017). З позицій нутриціології вона характеризується значною поживною цінністю, оскільки містить білки, мінеральні елементи (K, P, Mg, Ca, Na, Mn) (Mishra et al., 2020; Frankova et al., 2022) та широкий спектр вітамінів, зокрема B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, B₉, C, E і K.

Варіабельність хімічного складу між різними сортами картоплі зумовлена передусім відмінностями у вмісті макроелементів (зокрема білків і жирів), а також окремих мікроелементів, таких як Cu, P та K (Nassar et al., 2012; van Niekerk et al., 2016). Крім того, в раціоні людини, картопля є важливим джерелом аскорбінової кислоти і може забезпечувати суттєву частку добової потреби у вітаміні C (Burgos et al., 2009; Mattila & Hellström, 2007).

Окрім основних макро- та мікронутрієнтів, бульби картоплі містять значну кількість біологічно активних фітосполук, серед яких поліфеноли, антоціани, флавоноїди та каротиноїди (Sun et al., 2021; Fang et al., 2022). У рослинному організмі поліфенольні сполуки виконують численні фізіологічні функції, зокрема беруть участь у процесах росту і розвитку, формуванні клітинних стінок та пігментації тканин, а також відіграють важливу роль у захисних механізмах рослин проти біотичних (комахи, бактерії, віруси) і абіотичних (ультрафіолетове випромінювання, дія вільних радикалів) факторів стресу (Navarre et al., 2010; Namouz et al., 2009).

Особливе значення серед фенольних сполук мають фенольні кислоти, зокрема гідроксикоричні кислоти, основним представником яких у бульбах картоплі є хлорогенова кислота (Schieber & Saldana, 2009; Keutgen et al., 2019). Наявність таких біологічно активних компонентів зумовлює значний інтерес до картоплі як до важливого елемента раціонального харчування людини, оскільки ці сполуки можуть чинити позитивний вплив на стан здоров'я та сприяти профілактиці окремих захворювань.

Як зазначають Реганольд Дж.П. і Вехтер Дж.М. на основі метааналізу наукової літератури, більш, ніж за чотири десятиліття, екологічні переваги органічного виробництва картоплі не викликають сумнів (Reganold & Wachter 2016).

Суперечливий характер висновків різних досліджень щодо впливу органічного виробництва на біохімічні компоненти якості бульб картоплі, ймовірно, поясню-

ється невідповідностями, що виникають через використання різних сортів, відмінності погодних та ґрунтових умов регіонів та відсутність контролю над умовами вирощування. Тому актуальною залишається необхідність об'єктивно оцінити споживчу цінність картоплі з метою надання вичерпної інформації щодо вмісту корисних речовин у картоплі за дії органічних добрив, біологічних стимуляторів та біофунгіцидів з урахуванням умов зони Полісся України.

Матеріал і методи

Дослідження проводили у 2023–2025 рр. у стаціонарному польовому досліді Інституту картоплярства НААН (сел. Немішаєве, Київська область), що розташований у зоні Полісся України.

Ґрунт дослідної ділянки – дерново-підзолистий супіщаний. Агрохімічні показники орного шару ґрунту: вміст гумусу – близько 1,5–1,8 %, рН сольової витяжки – 5,3–5,6, забезпеченість рухомими формами фосфору і калію – 77 мг/кг та 104 мг/кг.

Об'єктом досліджень був сорт картоплі Мирослава.

Польовий дослід закладено методом розщеплених ділянок (split-plot) у триразовому повторенні.

У досліді вивчали вплив трьох факторів.

Фактор А – фон живлення:

A1 – сидеральний пар (гірчиця біла + гірчиця біла) (контроль фону)

A2 – сидеральний пар (гірчиця біла + гірчиця біла) + 40 т/га перегною ВРХ

Фактор В – біопрепарати:

B0 – без застосування препаратів (контроль)

B1 – Біогран

B2 – Біогран + StimPure AA Liquid

B3 – StimPure AA Liquid

B4 – Гуміфілд

B5 – VIT-ORG VG

Фактор С – біофунгіциди:

C0 – без біофунгіциду (контроль)

C1 – Мікохелп

C2 – Фітохелп

Сидеральні культури вирощували та заробляли у ґрунт відповідно до прийнятої технології. Перегній ВРХ вносили під основний обробіток ґрунту в нормі 40 т/га. Біопрепарати застосовували згідно з рекомендаціями виробника.

У бульбах картоплі визначали:

суху речовину – методом висушування до постійної маси (Бондарчук та ін., 2019);

крохмаль – поляриметричним методом (Бондарчук та ін., 2019);

вітамін С – титриметричним методом; (Бондарчук та ін., 2019);

вміст нітратів – іонометричним методом із використанням нітрат-селективного електрода (Santamaria, 2006);

загальний вміст фенольних сполук – спектрофотометричним методом із використанням реактиву Фоліна-Чокальтео (Singleton & Rossi, 1965);

хлорогенову кислоту – спектрофотометричним методом (Andre et al., 2007).

Статистичну обробку експериментальних даних проводили методом дисперсійного аналізу за методикою польового досліджу з використанням критерію Фішера.

Результати

Результати досліджень свідчать, що вміст сухої речовини у бульбах картоплі істотно залежав від року вирощування, фону живлення та застосування біологічних препаратів (Табл.1). Найвищі значення відмічено у 2024 році, тоді як у 2025 році спостерігалось певне зниження показника.

У 2023 році вміст сухої речовини у контрольному варіанті (подвійний сидерат гірчиці білої без застосування препаратів) становив 22,7 %. Застосування біопрепаратів сприяло підвищенню цього показника до 23,1–25,0 % залежно від варіанта. Найвищий вміст сухої речовини відмічено у варіанті із застосуванням препарату VIT-ORG VG у поєднанні з біофунгіцидом «Мікохелп» – 25,0 %, що на 10,1 % більше порівняно з контролем. Подібну тенденцію спостерігали і при застосуванні біофунгіциду «Фітохелп», де максимальний показник становив 25,1 %.

У 2024 році вміст сухої речовини був найвищим за період досліджень. У контрольному варіанті він становив 23,2 % на фоні сидерату та 24,3 % на фоні сидерату з внесенням перегною. Використання біопрепаратів забезпечило підвищення показника до 24,0–25,9 %. Максимальне значення (25,9 %) зафіксовано у варіанті з використанням препарату «VIT-ORG VG» у поєднанні з

біофунгіцидом «Мікохелп» на фоні внесення перегною, що перевищувало контроль на 9,9 %.

У 2025 році вміст сухої речовини був дещо нижчим порівняно з попередніми роками і становив 21,5–24,2 %. Найменший показник відмічено у контрольному варіанті на фоні сидерату (21,5 %). Застосування біопрепаратів сприяло підвищенню вмісту сухої речовини до 22,7–24,2 %, причому

найвищі значення спостерігали за використанням препарату «VIT-ORG VG».

У середньому за 2023–2025 рр. вміст сухої речовини у бульбах картоплі на фоні подвійного сидерату становив 22,4 % у контролі, тоді як застосування біопрепаратів підвищувало показник до 23,3–24,7 %. Найефективнішим серед досліджуваних препаратів виявився «VIT-ORG VG», де середній вміст сухої речовини становив 24,6–24,7 %.

На фоні сидерату з внесенням 40 т/га перегною ВРХ показники були дещо вищими. У контрольному варіанті середній вміст сухої речовини становив 23,2 %, тоді як застосування біопрепаратів підвищувало його до 23,9–24,9 %. Найвищий показник (24,9 %) отримано при використанні препарату «VIT-ORG VG» у поєднанні з біофунгіцидом «Мікохелп».

Загалом результати досліджень свідчать, що внесення органічного добрива у поєднанні із застосуванням біопрепаратів та біофунгіцидів сприяло підвищенню вмісту сухої речовини у бульбах картоплі. Найбільш ефективним виявилось застосування препарату «VIT-ORG VG», особливо на фоні сидерату з внесенням перегною.

Дослідження показали, що вміст крохмалю у бульбах картоплі залежав від фону живлення, застосування біопрепаратів та біофунгіцидів, а також від року проведення досліджу, подібно до того, як змінювалася суха речовина. Слід зазначити, що крохмаль становив близько 74–77 % сухої речовини, що підтверджує його основну роль у формуванні якісних характеристик бульб. Так, у контрольному варіанті на фоні подвійного сидерату гірчиці білої без обробки середній вміст крохмалю за три роки становив 17,7 %, а на фоні сидерату + перегній ВРХ 40 т/га – 17,2 %. Це свідчить, що органічне добриво незначно знижує базовий рівень крохмалю. Використання біопрепаратів та біофунгіцидів сприяло зростанню крохмалю на 2,8–9,3% порівняно з контролем, повторюючи тенденції зростання сухої речовини. Найвищий вміст крохмалю спостерігали у варіанті VIT-ORG VG на фоні сидерату – 19,2 %. Інші ефективні комбінації, як «Гуміфілд» та «Біогран + StimPure AA Liquid», також показали зростання вмісту крохмалю у бульбах на 5,6–6,4 %. На фоні сидерату + перегній максимальний вміст крохмалю досягав 18,7–18,8 % («VIT-ORG VG» і «Гуміфілд»).

Щодо річної динаміки зазначеного показника, то у 2024 році зафіксовано його мак-

Таблиця 1

Формування біохімічного складу бульб картоплі сорту Мирослава залежно від фону живлення, застосування біопрепаратів і біофунгіцидів, середнє за 2023–2025 рр.

Фон (фактор А)	Біопрепарати (фактор В)	Біофунгіциди (фактор С)	Вміст у бульбах		
			Сухой речовини, %	Крохмалю, %	Вітаміну С, мг%
Сидеральний пар (гірчиця біла + гірчиця біла)	Контроль (без обробки)	Контроль (без обробки)	22,4	17,7	20,6
	«Біогран»	Мікохелп	23,6	18,4	21,8
	«Біогран + StimPure AA Liquid»		24,1	18,7	22,4
	«StimPure AA Liquid»		23,4	18,6	21,9
	«Гуміфілд»		24,2	18,8	22,1
	«VIT-ORG VG»		24,7	19,2	22,8
	«Біогран»	Фітохелп	23,7	18,2	21,7
	«Біогран + StimPure AA Liquid»		24,2	18,6	22,5
	«StimPure AA Liquid»		23,3	18,5	21,8
	«Гуміфілд»		24,1	18,8	22,2
	«VIT-ORG VG»		24,6	19,1	22,6
Сидеральний пар (гірчиця біла + гірчиця біла) + перегній ВРХ 40т/га	Контроль (без обробки)	Контроль (без обробки)	23,2	17,2	23,3
	«Біогран»	Мікохелп	24,0	17,9	24,6
	«Біогран + StimPure AA Liquid»		24,6	18,2	25,5
	«StimPure AA Liquid»		24,2	17,8	24,3
	«Гуміфілд»		24,6	18,3	25,3
	«VIT-ORG VG»		24,9	18,8	25,5
	«Біогран»	Фітохелп	23,9	17,8	24,5
	«Біогран + StimPure AA Liquid»		24,5	18,3	25,6
	«StimPure AA Liquid»		23,9	17,9	24,1
	«Гуміфілд»		24,5	18,3	25,1
	«VIT-ORG VG»		24,8	18,7	25,4
НІР _{0,05}	Фактор А		0,24	0,23	0,64
	Фактор В		0,36	0,35	1,10
	Фактор С		0,21	0,24	0,64
	АВ		0,49	0,56	1,55
	АС		0,37	0,43	0,91
	ВС		0,57	0,54	1,10
	ABC		0,62	0,62	1,55

симальні значення, що свідчить про сприятливі погодні умови (не загалом, а для накопичення вмісту крохмалю). У 2023 та 2025 роках показники були трохи нижчими, але зберігалася загальна закономірність: перегній знижує вміст крохмалю, а біопрепарати та біофунгіциди сприяють його зростанню.

Вміст вітаміну С у бульбах картоплі є важливим показником харчової та біологічної цінності продукції і значною мірою залежить від агротехнологічних прийомів вирощування, зокрема застосування сидератів, органічних добрив і біологічних препаратів.

За результатами досліджень, проведених упродовж 2023–2025 рр., встановлено суттєвий вплив досліджуваних факторів на накопичення вітаміну С у бульбах картоплі. За використання лише подвійного сидерату (гірчиця біла) вміст аскорбінової кислоти в контрольному варіанті становив у середньому 20,6 мг%. Застосування біопрепаратів та біофунгіцидів сприяло підвищенню цього показника на 1,1–2,2 мг% порівняно з контролем.

Найнижчий середній вміст вітаміну С за даного фону відмічено у варіанті застосування препарату «Біогран» у поєднанні

з біофунгіцидом Мікохелп – 21,8 мг%, тоді як максимальні значення формувалися за використання препарату VIT-ORG VG, де показник становив 22,8 мг%. Дещо нижчі, проте близькі значення відмічено у варіантах застосування «Біогран + StimPure AA Liquid» (22,4–22,5 мг%) та «Гуміфілд» (22,1–22,2 мг%).

Поєднання подвійного сидерату з внесенням перегною ВРХ у нормі 40 т/га істотно підвищувало накопичення вітаміну С у бульбах картоплі. У контрольному варіанті на цьому фоні середній показник становив 23,3 мг%, що на 2,7 мг% більше порівняно з варіантом без органічного удобрення.

За результатами досліджень, проведених упродовж 2023–2025 рр., встановлено суттєвий вплив досліджуваних факторів на накопичення вітаміну С у бульбах картоплі. За використання лише подвійного сидерату (гірчиця біла) вміст аскорбінової кислоти в контрольному варіанті становив у середньому 20,6 мг%. Застосування біопрепаратів та біофунгіцидів сприяло підвищенню цього показника на 1,1–2,2 мг% порівняно з контролем.

Найнижчий середній вміст вітаміну С за даного фону відмічено у варіанті застосування препарату «Біогран» у поєднанні з біофунгіцидом Мікохелп – 21,8 мг%, тоді як максимальні значення формувалися за використання препарату VIT-ORG VG, де показник становив 22,8 мг%. Дещо нижчі, проте близькі значення відмічено у варіантах застосування «Біогран + StimPure AA Liquid» (22,4–22,5 мг%) та «Гуміфілд» (22,1–22,2 мг%).

Поєднання подвійного сидерату з внесенням перегною ВРХ у нормі 40 т/га істотно підвищувало накопичення вітаміну С у бульбах картоплі. У контрольному варіанті на цьому фоні середній показник становив 23,3 мг%, що на 2,7 мг% більше порівняно з варіантом без органічного удобрення.

Застосування біопрепаратів у поєднанні з біофунгіцидами на даному агрофоні сприяло подальшому підвищенню вмісту аскорбінової кислоти до 24,1–25,6 мг%. Найвищі значення показника зафіксовано у варіантах використання «Біогран + StimPure AA Liquid» у поєднанні з біофунгіцидами «Мікохелп» та «Фітохелп» – 25,6 та 25,4 мг% відповідно. Близькі результати отримано за застосування препарату «VIT-ORG VG», де середній вміст вітаміну С становив 25,4–25,5 мг%.

Таким чином, результати досліджень свідчать, що поєднання сидеральних куль-

тур із внесенням органічних добрив та застосуванням біопрепаратів і біофунгіцидів позитивно впливає на біохімічні показники якості бульб картоплі. Найбільш ефективними для підвищення вмісту вітаміну С виявилися технологічні варіанти із застосуванням препарату «Біогран + StimPure AA Liquid» та «VIT-ORG VG» на фоні сидерації з внесенням перегною.

Дисперсійний аналіз показав, що вміст вітаміну С у бульбах картоплі достовірно залежав від фону живлення та застосування біопрепаратів. Найбільший вплив мав фактор А (фон живлення), для якого фактичне значення критерію Фішера ($F_{\phi} = 61,4$) значно перевищувало табличне ($F_{05} = 4,08$), що свідчить про високодостовірний вплив цього фактора на формування біохімічного показника. Достовірний вплив встановлено також для фактора В (біопрепарати) та фактора С (біофунгіциди), де значення F_{ϕ} перевищували F_{05} . Взаємодія факторів АВ, АС, ВС та АВС була статистично недостовірною, оскільки фактичні значення критерію Фішера були меншими за табличні. Це свідчить про те, що основна частка варіації показника формувалася під впливом фону живлення та застосування біопрепаратів, тоді як їх взаємодія з біофунгіцидами істотно не змінювала вмісту вітаміну С.

Вміст нітратів у бульбах картоплі є важливим показником якості продукції та безпечності її споживання (Santamaria, 2006). За результатами досліджень, проведених у 2023–2025 рр., встановлено, що внесення перегною (40 т/га) очікувано підвищувало стартовий рівень нітратів. У контролі він зріс із 62,3 до 79,1 мг/кг (+16,8 мг/кг або 27 %) (Рис. 1).

Проте, навіть на фоні 2, рівень нітратів залишається в 3 рази нижчим за ГДК (250 мг/кг), що свідчить про високу екологічність досліду. Застосування біопрепаратів у поєднанні з біофунгіцидами сприяло певному зниженню. Поєднання «Біогран + StimPure AA Liquid» забезпечувало найнижчий вміст нітратів на обох фонах (54,0–54,1 на Ф1 та 61,8–62,0 на Ф2). Препарати на основі амінокислот («VIT-ORG VG» та «StimPure») були ефективнішими за чистий «Біогран», що можна пояснити тим, що готові амінокислоти швидше «включають» азот у метаболізм. Вплив біофунгіцидів був найменший. Різниця між Мікохелпом та Фітохелпом у більшості варіантів становила лише 0,1–0,3 мг/кг. Проте на фоні 2 (з перегноєм) комплекс «Біогран + StimPure» спрацював

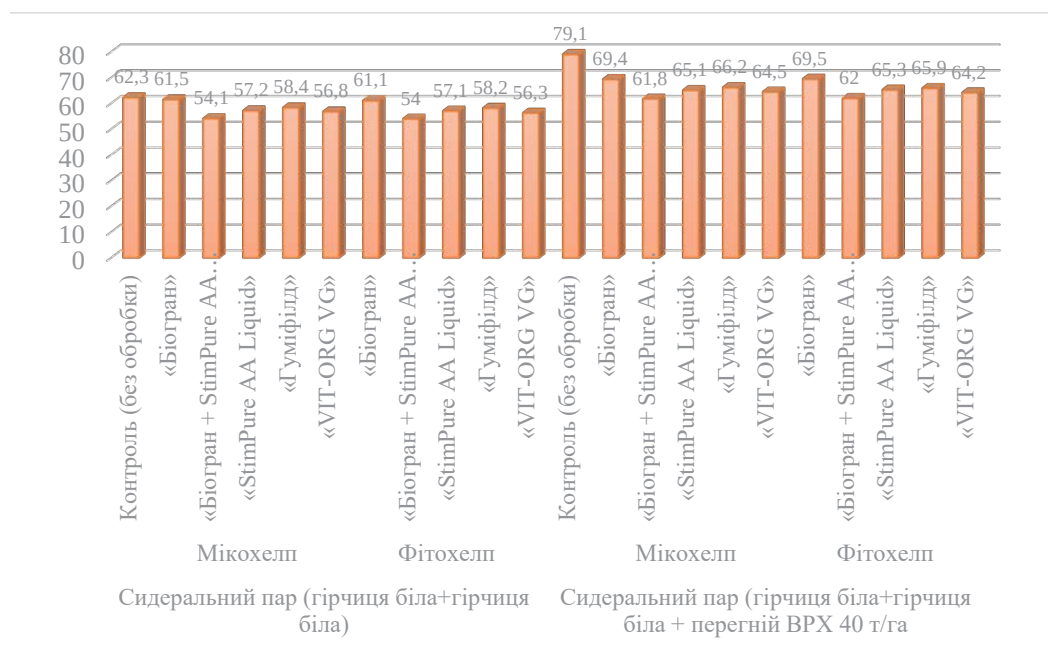


Рис. 1. Зміна вмісту нітратів у бульбах картоплі залежно від фону удобрення та застосування біопрепаратів і біофунгіцидів (середнє за 2023–2025 рр.), мг/кг
Примітка: НР_{0,05} (мг/кг): А – 0,57; В – 0,94; С – 0,60; АВ – 1,34; АС – 0,85; ВС – 1,31; АВС – 1,98

трохи краще з Фітохелпом (62,0 мг/кг), ніж з Мікохелпом.

Аналіз міжрічної динаміки показав, що найвищий вміст нітратів спостерігали у 2024 році. Це можна пояснити як рік з меншою кількістю опадів у період інтенсивного росту, що призвело до вищої концентрації ґрунтового розчину. Поєднання «Біогран + StimPure AA Liquid» демонструє найвищу стабільність за роками. Навіть у несприятливому 2024 році цей варіант на фоні перегною (63,1–63,3 мг/кг) виявився кращим, ніж контроль на чистому сидераті (63,5 мг/кг). Динаміка за роками підтверджує, що перегній (40 т/га) є пролонгованим добривом. Різниця між Ф1 та Ф2 залишається стабільною протягом усього періоду досліджень (біля 16–17 мг/кг у контролі).

Фенольні сполуки є одними з основних вторинних метаболітів у рослинах картоплі, що виконують ключові функції у захисті від біотичних та абіотичних стресових факторів, а також беруть участь у регуляції росту та розвитку рослин, впливають на смакові характеристики та антиоксидантні властивості бульб.

Вміст фенольних сполук у рослинах значною мірою залежить від генетичних особливостей сорту, умов вирощування та застосованих агротехнічних заходів, таких як

використання органічних добрив, біопрепаратів та біофунгіцидів. Особливу увагу привертає хлорогенова кислота, яка є домінуючою кислотою серед загального пулу фенолів у бульбах картоплі, потужний антиоксидант, який захищає клітини рослини від окислювального стресу, а також впливає на накопичення поліфенольних комплексів, що визначають стійкість до несприятливих умов середовища.

Аналіз середніх значень за 2023–2025 роки показав, що для варіанту з подвійним сидератом (гірчиця біла) без внесення перегною середній загальний вміст поліфенолів у контролі становив 66,48 мг/100 г сирової маси, а вміст хлорогенової кислоти – 64,08 мг/100 г. Використання біопрепарату «Біогран + StimPure AA Liquid» підвищувало вказані показники до 69,82 мг/100 г і 67,14 мг/100 г відповідно, тоді як застосування «VIT-ORG VG» забезпечувало 69,27 мг/100 г фенолів і 67,15 мг/100 г хлорогенової кислоти. Інші біопрепарати, такі як «Гуміфілд», також сприяли зростанню фенольного профілю бульб, проте їх ефект був дещо меншим (Рис. 2).

Додавання перегною ВРХ (40 т/га) посилювало ефективність біопрепаратів. У цьому варіанті середній загальний вміст поліфенолів у контролі становив 68,23 мг/100 г,

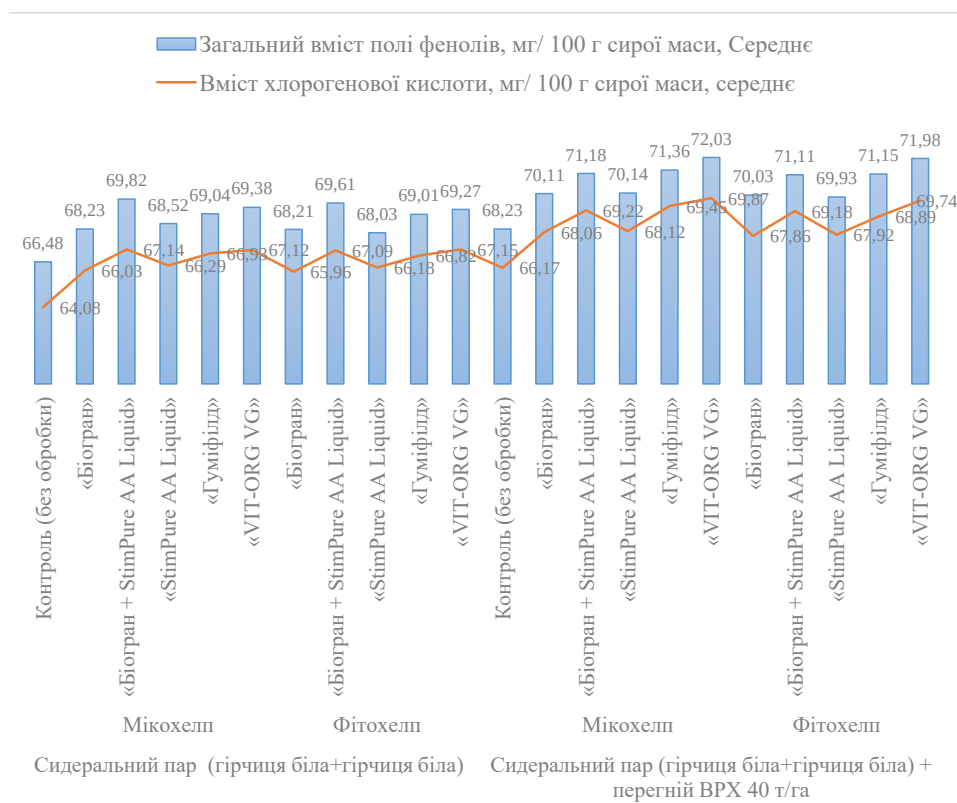


Рис. 2. Загальний вміст поліфенолів та хлорогенової кислоти в бульбах картоплі с. Мирослава залежно від фону удобрення та застосування біопрепаратів і біофунгіцидів (середнє за 2023–2025 рр., мг/100 г сирової маси)

Примітка: $HIP_{0,05}$: Поліфеноли: A – 12,9; B – 11,2; C – 10,0; AB – 12,5; AC – 12,0; BC – 11,5; ABC – 13,0. Хлорогенова кислота: A – 2,8; B – 2,7; C – 2,3; AB – 2,9; AC – 2,8; BC – 2,6; ABC – 3,0

а хлорогенової кислоти – 66,17 мг/100 г. Поєднання «Біогран + StimPure AA Liquid» з перегноєм забезпечувало підвищення показників до 71,11 мг/100 г фенолів і 69,18 мг/100 г хлорогенової кислоти.

Максимальні значення спостерігали у варіанті з «VIT-ORG VG» і перегноєм, де середній вміст фенолів досягав 71,98 мг/100 г, а хлорогенової кислоти – 69,87 мг/100 г.

Отримані дані свідчать про синергетичну дію органічного добрива та мікробіологічних препаратів у підвищенні антиоксидантної активності бульб картоплі. Дисперсійний аналіз показав, що на загальний вміст фенолів та хлорогенової кислоти у бульбах картоплі статистично значущий вплив мають фон (A), біопрепарати (B), біофунгіциди (C) та їхні основні взаємодії AB і AC ($F_{\phi} > F_{0,05}$). Взаємодії BC та ABC виявились частково значущими.

Результати досліджень свідчать, що застосування подвійного сидерату, біопрепаратів та біофунгіцидів суттєво підвищує біохімічні показники бульб картоплі порівняно з традиційною технологією вирощування.

У традиційному варіанті суха речовина становила 19,6 %, крохмаль – 15,6 %, вітамін C – 18,4 мг%, нітрати – 136,8 мг/кг, загальний вміст поліфенолів – 60,72 мг/100 г, хлорогенова кислота – 57,31 мг/100 г.

У наших дослідках середній вміст сухої речовини за 2023–2025 рр. на фоні подвійного сидерату без внесення перегною становив 22,4 %, а при застосуванні біопрепаратів підвищувався до 23,3–24,7 %, максимальні значення спостерігали у варіантах із «VIT-ORG VG» – 24,6–24,7 %. Додавання перегною 40 т/га забезпечувало ще більший ефект, підвищуючи середній показник сухої речовини до 23,9–24,9 %.

Вміст крохмалю у бульбах також перевищував показники традиційної технології: у контрольному варіанті на фоні сидерату він складав 17,7 %, а при застосуванні біопрепаратів та біофунгіцидів зростав до 19,2 % (варіант VIT-ORG VG). На фоні сидерату з перегноєм максимальні значення крохмалю досягали 18,7–18,8 %.

Органічна система вирощування забезпечила в середньому на 27,4 % вищий вміст

вітаміну С у бульбах картоплі порівняно з традиційною технологією. При цьому на фоні використання лише сидерату підвищення становило близько 19,6 %, тоді як за поєднання сидерації з внесенням перегною ВРХ (40 т/га) – близько 34,8 %.

Вміст нітратів у бульбах у наших дослідженнях був значно нижчим, ніж у традиційній технології: на фоні лише сидерату контрольні значення становили 62,3 мг/кг, а при застосуванні біопрепаратів і біофунгіцидів – 54,0–61,5 мг/кг. На фоні сидерату з перегноем цей показник зростав до 61,8–79,1 мг/кг, що залишалося значно нижче традиційного варіанту (136,8 мг/кг).

В органічній системі вирощування картоплі відмічено вищий вміст фенольних сполук порівняно з традиційною технологією. Так, загальний вміст поліфенолів збільшувався на 7,9–10,0 мг/100 г (13–16%). Вміст хлорогенової кислоти зростав на 8,9–11,3 мг/100 г (15–20%).

Таким чином, застосування сучасних біотехнологічних та органічних агротехнологій дозволяє підвищити біохімічну цінність бульб картоплі, збільшити антиоксидантний потенціал (вміст фенолів, хлорогенової кислоти та вітаміну С), підвищити суху речовину та крохмаль і знизити ризик накопичення нітратів порівняно з традиційним вирощуванням.

Обговорення

Отримані результати досліджень свідчать про істотний вплив системи удобрення та застосування біологічних препаратів на формування біохімічних показників бульб картоплі. Подібні закономірності відмічалися й у дослідженнях інших авторів, де показано, що застосування органічних добрив і мікробіологічних препаратів сприяє підвищенню вмісту сухої речовини та крохмалю у бульбах картоплі.

Антиоксидантні фенольні сполуки, особливо хлорогенова кислота, є важливими показниками біохімічної цінності бульб. Літературні джерела підтверджують, що фенольні кислоти змінюються залежно від генотипу та умов вирощування, а хлорогенова кислота зазвичай домінує серед фенольних кислот у картоплі (Wichrowska, 2022). За даними польських дослідників вміст фенольних кислот становив 62,95–126,77 мг/100 г свіжої маси, що складало значну частину загального пулу фенолів. Середня концентрація фенольних кислот у цих роботах була вищою (≈86 мг/100 г) порівняно з традиційними даними, що узгоджується з тим, що

генетичний фактор і кліматичні умови значуще впливають на накопичення цих сполук (Cebulak et al., 2022). Дослідження інших авторів також показали, що антиоксидантна активність та загальний вміст фенолів у картоплі залежать не лише від умов вирощування, але й від використання систем органічного та інтегрованого виробництва, де органічні технології часто сприяють вищому вмісту фенолів, вітаміну С та інших нутрієнтів порівняно з традиційними підходами (Ru et al., 2019; Vaitkevicien et al., 2020).

Зокрема, дослідження Вшелачинської Е. у співавторстві показали, що органічна система вирощування сприяє підвищенню вмісту фенольних сполук та антиоксидантної активності бульб картоплі (Wszelaczynska et al., 2022). Подібні результати отримали Андре К.М. зі співавторами, які встановили, що вміст фенольних кислот у бульбах значною мірою залежить від сорту, умов вирощування та системи удобрення. Отримані нами показники вмісту фенольних сполук і хлорогенової кислоти (66–72 мг/100 г та 64–70 мг/100 г відповідно) знаходяться у межах, наведених у літературі (Andre et al., 2007).

Джаман зі співавторами (Djaman et al., 2021) вказують, що вміст нітратів або нітритів в органічній сировині картоплі в середньому становив 27–40 % порівняно з інтегрованою системою, а за даними Рембіалковської Е. (Rembialkowska, 2007), він не перевищував 48 %. У традиційних системах вирощування частіше фіксують вищі значення нітратів, що є потенційним ризиком для безпеки харчових продуктів, тоді як у наших дослідах середні значення нітратів у варіантах з біопрепаратами та біофунгіцидами були значно нижчими за традиційні 136,8 мг/кг, що свідчить про більш безпечний профіль хімічних забруднювачів при застосуванні органічних і біологічних технологій.

Встановлене у наших дослідженнях зростання вмісту вітаміну С за використання біологічних препаратів узгоджується з результатами досліджень Хамуза К. та інших (Hamouz et al., 2009), які відзначали підвищення концентрації аскорбінової кислоти у бульбах картоплі при застосуванні органічних добрив та біологічних стимуляторів росту.

Таким чином, результати проведених досліджень узгоджуються з даними інших науковців і підтверджують ефективність використання сидеральних культур, орга-

нічних добрив та біопрепаратів для підвищення якості продукції картоплі.

Висновки

1. Встановлено, що органічна система вирощування картоплі із застосуванням подвійного сидерату гірчиці білої, органічних добрив та біопрепаратів істотно впливає на формування біохімічних показників бульб сорту Мирослава. Вміст сухої речовини у бульбах картоплі за роки досліджень становив 21,5–25,9 %, причому найвищі значення (25,9 %) отримано за використання біопрепарату «VIT-ORG VG» у поєднанні з біофунгіцидом «Мікохелп» на фоні сидерату з внесенням перегною.

2. Вміст крохмалю у бульбах варіював у межах 17,2–19,2 %, що на 2,8–9,3 % перевищувало контрольні значення. Найвищі показники крохмалю отримано при застосуванні біопрепарату «VIT-ORG VG» як на фоні сидератів – 19,2 %, так і на фоні сидерату з перегноем – 18,7 %.

3. Застосування сидератів, органічних добрив та біологічних препаратів спри-

яло підвищенню вмісту вітаміну С до 24,1–25,6 мг/100 г, що перевищувало показники традиційної технології на 19,6–34,8 % залежно від фону.

4. Отримані результати засвідчують, що навіть за інтенсивного органічного удобрення (гірчиця біла + гірчиця біла + 40 т/га перегною) вміст нітратів у картоплі не перевищував 79,1 мг/кг, що значно менше за допустиму норму (ГДК = 250 мг/кг) та підтверджує безпечність органічної технології.

5. Загальний вміст фенольних сполук у бульбах становив 66,48–71,98 мг/100 г, ахлорогеновоїкислоти–64,08–69,87мг/100г, що свідчить про підвищення антиоксидантного потенціалу бульб за органічної системи вирощування. Найвищі показники відмічено на фоні сидерального пару (гірчиця біла + гірчиця біла) у поєднанні з внесенням перегною ВРХ (40 т/га) за застосування біопрепарату VIT-ORG VG у поєднанні з біофунгіцидом Мікохелп, де вміст поліфенолів досягав 72,03 мг/100 г, а хлорогенової кислоти – 69,87 мг/100 г.

Список використаної літератури

Бондарчук А. А., Колтунов В. А., Олійник Т. М. та ін. Картоплярство: Методика дослідної справи. За редакцією А. А. Бондарчука, В. А. Колтунова. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2019. 625 с. https://www.ikar.org.ua/_files/ugd/69bb4c_77462c9ea8804515b090c3254bffeada.pdf (дата звернення: 04.02.2026).

Статистичний щорічник України за 2024 рік / За ред. А.В. Макаруча. Київ: Державна служба статистики України, 2025. 273 с. [Електронний ресурс]. URL: <https://stat.gov.ua/uk/publications/statystychnyy-shchorichnyk-ukrayiny-2024> (дата звернення 24.02.2026).

Andre C.M., Ghislain M., Bertin P., Oufir M., Herrera M.R., Hoffmann L., Hausman J.F., Larondelle Y., & Evers D. Andean potato cultivars as a source of antioxidant and mineral micronutrients. *Journal of Agricultural and Food Chemistr.* 2007. Vol. 55, Iss. 2. P. 366–378. <https://doi.org/10.1021/jf062740>.

Burgos G., Auqui S., Amoros W., Salas E., & Bonierbale M. Ascorbic acid concentration of native Andean potato varieties as affected by environment, cooking and storage. *Journal of Food Composition and Analysis.* 2009. Vol. 22, Iss. 6. P. 533–538. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.05.013>.

Cebulak T., Krochmal-Marczak B., Stryjecka M., Krzysztofik B., Sawicka B., Danilcenko H., & Jariene E. Phenolic Acid Content and Antioxidant Properties of Edible Potato (*Solanum tuberosum* L.) with Various Tuber Flesh Colours. *Foods.* 2022. Vol. 12, no.1. P. 100–113. <https://doi.org/10.3390/foods12010100>.

Djaman K., Sanogo S., Koudahe K., Allen S., Saibou A., & Essah S.. Characteristics of Organically Grown Compared to Conventionally Grown Potato and the Processed Products: A Review. *Sustainability.* 2021. Vol. 13, Iss. 11. P. 6289. <https://doi.org/10.3390/su13116289>.

Fang H., Yin X., He J., Xin S., Zhang H., Ye X., Yang Y., & Tian J. Cooking methods affected the phytochemicals and antioxidant activities of potato from different varieties. *Food Chem X.* 2022. Vol. 14. P. 100339–100346. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100339>.

FAO. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook. 2024. Rome. [Електронний ресурс] <https://www.evalforearth.org/sites/default/files/2024-11/STATISTICAL%20YEARBOOK%20FAO%202024.pdf>. <https://doi.org/10.4060/cd2971en> (дата звернення 4.03.2026)

Frankova H., Musilova J., Arvay J., Harangozo L., Snirc M., Vollmannova A., Lidikova J., Hegedusova A., & Jasko E. Variability of Bioactive Substances in Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) Depending on Variety and Maturity. *Agronomy.* 2022. Vol. 12. P. 1454–1467. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061454>

- Hamouz K., Lachman L., Dvorak P., Orsak M., Hejtmankova K., Cizek M. Effect of selected factors on the content of ascorbic acid in potatoes with different tuber flesh colour. *Plant Soil and Environment*. 2009. Vol. 55, Iss. 7. P. 281–287. <https://doi.org/doi:10.17221/82/2009-PSE>.
- Keutgen A.J., Wszelaczynska E., Poberezhny J., Przewodowska A., Przewodowski W., Milczarek D., Tatarowska B., Flis B., & Keutgen N. Antioxidant properties of potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) as a consequence of genetic potential and growing conditions. *PLoS One*. 2019. Vol. 14, no. 9. P. 0222976–0222989. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222976>.
- Mattila P., & Hellström J. Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2007. Vol. 20, Iss. 3–4. P. 152–160. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.05.007>.
- Mishra T., Raigond P., Thakur N., Dutt S., & Singh, B. Recent Updates on Healthy Phytoconstituents in Potato: A Nutritional Depository. *Potato Res.* 2020. Vol. 63. P. 323–343. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09442-z>.
- Nassar A.M., Sabally K., Kubow S., Leclerc Y.N., & Donnelly D.J. Some Canadian-grown potato cultivars contribute to a substantial content of essential dietary minerals. *J Agric Food Chem.* 2012. Vol. 60, Iss. 18. P. 4688–4696. <https://doi.org/10.1021/jf204940t>.
- Navarre D., Shakya R., Holden J., & Kumar S. The effect of different cooking methods on phenolics and vitamin C in developmentally young potato tubers. *Am. J. Potato Res.* 2010. Vol. 87. 350–359. <https://doi.org/10.1007/s12230-010-9141-8>.
- Ngobese Z.N., Workneh T.S., Alimi B.A., & Tesfay S. Nutrient composition and starch characteristics of eight European potato cultivars cultivated in South Africa. *J. Food Compos. Anal.* 2017. Vol. 55. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.11.002>.
- Reganold J. & Wachter J. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*. 2016. Vol. 2. P. 1–8. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>.
- Rembialska E. Quality of plant products from organic agriculture. *J. Sci. Food Agric.* 2007. Vol. 87. P. 2757–2762. <https://doi.org/10.1002/jsfa>.
- Ru W., Pang Y., Gan Y., Liu Q., & Bao J. Phenolic Compounds and Antioxidant Activities of Potato Cultivars with White, Yellow, Red and Purple Flesh. *Antioxidants* (Basel). 2019. Vol. 8, Iss. 10. P. 419–430. <https://doi.org/10.3390/antiox8100419>.
- Santamaria P. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *J. Sci. Food Agric.* 2006. Vol. 86. P. 10–17. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2351>.
- Schieber A., & Saldana, M.D.A. Potato peels: A source of nutritionally and pharmacologically interesting compounds - A review. *Food*. 2009. Vol. 3, Iss. 2. P. 23–29. <https://doi.org/10.7939/R33T9DM0H>.
- Singleton V.L., & Rossi J.A. Colorimetry of total phenols with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 1965. Vol. 16. P. 144–158.
- Sun Q., Du M., Navarre D. A., & Zhu M. Effect of Cooking Methods on Bioactivity of Polyphenols in Purple Potatoes. *Antioxidants*. 2021. Vol. 10, Iss. 8. P. 1176–1185. <https://doi.org/10.3390/antiox10081176>.
- Vaitkeviciene N., Kulaitien J., Jarien E., Levickien D., Danilcenko H., Srednicka-Tober D., Rembialska E., & Hallmann E. Characterization of Bioactive Compounds in Colored Potato (*Solanum Tuberosum* L.) Cultivars Grown with Conventional, Organic, and Biodynamic Methods. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. P. 2701–2014. <https://doi.org/10.3390/su12072701>.
- van Niekerk C., Schönfeldt H., Hall N. & Pretorius, B. The Role of Biodiversity in Food Security and Nutrition: A Potato Cultivar Case Study. *Food and Nutrition Sciences*. 2016. Vol. 7. P. 371–382. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2016.75039>.
- Wichrowska D. Antioxidant Capacity and Nutritional Value of Potato Tubers (*Solanum tuberosum* L.) as a Dependence of Growing Conditions and Long-Term Storage. *Agriculture* 2022. Vol. 12. P. 1–21. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010021>.
- Wszelaczynska E., Poberezhny J., Keutgen A.J., Keutgen N., Goscinnia K., Milczarek D., Tatarowska B., & Flis B. Antinutritional Nitrogen Compounds Content in Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tubers Depending on the Genotype and Production System. *Agronomy*. 2022. Vol. 12, Iss. 10. P. 2415–2426. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102415>.

References

- Bondarchuk, A. A., Koltunov, V. A., Oliynik, T. M. et al. (2019). *Kartoplyarstvo: Metodika doslidnoyi spravi* [Potato growing: Methods of research]. Vinnitsya: TVORI. https://www.ikar.org.ua/_files/ugd/69bb4c_77462c9ea8804515b090c3254bffeada.pdf (access date 24.02). [in Ukrainian].

Makarchuk, A.V. (Ed.) (2024). Statystychnyi shchorichnyk Ukrainy za 2024 rik [Statistical Yearbook of Ukraine for 2024]. Kyiv: Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. [Electronic resource]. URL: <https://stat.gov.ua/uk/publications/statystychnyy-shchorichnyk-ukrayiny-2024> (access date 24.02.2026).

Andre, C.M., Ghislain, M., Bertin, P., Oufir, M., Herrera M. R., Hoffmann, L., Hausman, J.F., Larondelle, Y., & Evers, D. (2007). Andean potato cultivars as a source of antioxidant and mineral micronutrients. *Journal of Agricultural and Food Chemistr.*, 55(2), 366–378. <https://doi.org/10.1021/jf062740i>.

Burgos, G., Auqui, S., Amoros, W., Salas, E., & Bonierbale, M. (2009). Ascorbic acid concentration of native Andean potato varieties as affected by environment, cooking and storage. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 533–538. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.05.013>.

Cebulak, T., Krochmal-Marczak, B., Stryjecka, M., Krzysztofik, B., Sawicka, B., Danilcenko, H., & Jariene, E. (2021). Phenolic Acid Content and Antioxidant Properties of Edible Potato (*Solanum tuberosum* L.) with Various Tuber Flesh Colours. *Foods*, 12(1), 100–113. <https://doi.org/10.3390/foods12010100>.

Djaman, K., Sanogo, S., Koudahe, K., Allen, S., Saibou, A., & Essah, S. (2021). Characteristics of Organically Grown Compared to Conventionally Grown Potato and the Processed Products: A Review. *Sustainability*, 13(11), 6289. <https://doi.org/10.3390/su13116289>

Fang, H., Yin, X., He, J., Xin, S., Zhang, H., Ye, X., Yang, Y., & Tian, J. (2022). Cooking methods affected the phytochemicals and antioxidant activities of potato from different varieties. *Food Chem X.*, 21(14), 100339–100346. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100339>.

FAO. (2024). World Food and Agriculture – Statistical Yearbook. . Rome. [Electronic resource]. <https://www.evalforearth.org/sites/default/files/2024-11/STATISTICAL%20YEARBOOK%20FAO%202024.pdf>/ <https://doi.org/10.4060/cd2971en> (access date 4.03.2026).

Frankova, H., Musilova, J., Arvay, J., Harangozo, L., Snirc, M., Vollmannova, A., Lidikova, J., Hegedusova, A., & Jasko, E. (2022). Variability of Bioactive Substances in Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) Depending on Variety and Maturity. *Agronomy*, 12, 145–1467. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061454>.

Hamouz, K., Lachman, L., Dvorak, P., Orsak, M., Hejtmankova, K., Cizek, M. (2009). Effect of selected factors on the content of ascorbic acid in potatoes with different tuber flesh colour. *Plant Soil and Environment*, 55(7), 281–287. <https://doi.org/10.17221/82/2009-PSE>.

Keutgen, A.J., Wszelaczynska, E., Poberezhny, J., Przewodowska, A., Przewodowski, W., Milczarek, D., Tatarowska, B., Flis, B., & Keutgen, N. (2019). Antioxidant properties of potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) as a consequence of genetic potential and growing conditions. *PLoS One*, 14(9), 0222976–0222989. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222976>.

Mattila, P., & Hellström, J. (2007). Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products. *J. of Food Composition and Analysis*, 20(3–4), 152–160, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.05.007>.

Mishra, T., Raigond, P., Thakur, N., Dutt, S., & Singh, B. (2020). Recent Updates on Healthy Phytoconstituents in Potato: A Nutritional Depository. *Potato Res.*, 63, 323–343. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09442-z>.

Nassar, A.M., Sabally, K., Kubow, S., Leclerc, Y.N., & Donnelly, D.J. (2012). Some Canadian-grown potato cultivars contribute to a substantial content of essential dietary minerals. *J Agric Food Chem.*, 60(18), 4688–4696. <https://doi.org/10.1021/jf204940t>.

Navarre, D., Shakya, R., Holden, J., & Kumar, S. (2010). The effect of different cooking methods on phenolics and vitamin C in developmentally young potato tubers. *Am. J. Potato Res.*, 87, 350–359. <https://doi.org/10.1007/s12230-010-9141-8>.

Ngobese, Z.N., Workneh, T.S., Alimi, B.A., & Tesfay, S. (2017). Nutrient composition and starch characteristics of eight European potatocultivars cultivated in South Africa. *J. Food Compos. Anal.*, 55, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.11.002>.

Reganold, J. & Wachter, J. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2, 1–8. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>.

Rembalkowska, E. (2007). Quality of plant products from organic agriculture. *J. Sci. Food Agric.*, 87, 2757–2762. <https://doi.org/10.1002/jsfa>.

Ru, W., Pang, Y., Gan, Y., Liu, Q., & Bao, J. (2019). Phenolic Compounds and Antioxidant Activities of Potato Cultivars with White, Yellow, Red and Purple Flesh. *Antioxidants (Basel)*, 8(10), 419–430. <https://doi.org/10.3390/antiox8100419>.

Santamaria, P. (2006). Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *J. Sci. Food Agric.*, 86, 10–17. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2351>.

Schieber, A., & Saldana, M.D.A. (2009). Potato peels: A source of nutritionally and pharmacologically interesting compounds - A review. *Food*, 3(2), 23–29. <https://doi.org/10.7939/R33T9DM0H>.

Singleton, V.L., & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenols with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.*, 16, 144–158.

Sun, Q., Du, M., Navarre, D. A., & Zhu, M. (2021). Effect of Cooking Methods on Bioactivity of Polyphenols in Purple Potatoes. *Antioxidants*, 10(8), 1176–1185. <https://doi.org/10.3390/antiox10081176>.

Vaitkevicien, N., Kulaitien, J., Jarien, E., Levickien, D., Danillcenko, H., & Srednicka-Tober, D.; Rembialkowska, E., & Hallmann, E. (2020). Characterization of Bioactive Compounds in Colored Potato (*Solanum Tuberosum* L.) Cultivars Grown with Conventional, Organic, and Biodynamic Methods. *Sustainability*, 12, 2701–2014. <https://doi.org/10.3390/su12072701>.

van Niekerk, C., Schönfeldt, H., Hall, N., & Pretorius, B. (2016). The Role of Biodiversity in Food Security and Nutrition: A Potato Cultivar Case Study. *Food and Nutrition Sciences*, 7, 371–382. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2016.75039>.

Wichrowska, D. (2022). Antioxidant Capacity and Nutritional Value of Potato Tubers (*Solanum tuberosum* L.) as a Dependence of Growing Conditions and Long-Term Storage. *Agriculture*, 12, 1–21. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010021>

Wszelaczynska, E., Poberezny, J., Keutgen, A.J., Keutgen, N., Goscinna, K., Milczarek, D., Tatarowska, B., & Flis, B. (2022). Antinutritional Nitrogen Compounds Content in Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tubers Depending on the Genotype and Production System. *Agronomy*, 12(10), 2415–2426. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102415>.

Дата першого надходження статті до видання: 16.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 15.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



УДК 633.852:631.524

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.23>

ОЦІНЮВАННЯ АДАПТИВНОЇ ЗДАТНОСТІ ВИДІВ РОДУ *HYDRANGEA* L. В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

М. Ю. Осіпов¹, В. В. Поліщук²

Враховуючи стійкі зміни клімату, пошук адаптованих, екологічно пластичних видів для використання в озелененні урбанізованих територій є актуальним та має практичне значення. Метою досліджень було оцінювання адаптивної здатності видів роду *Hydrangea* в умовах Правобережного Лісостепу України. Польові дослідження проводили упродовж 2020–2024 років на базі Уманського національного університету та Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України. Визначено, що *H. arborescens*, *H. paniculata* та *H. quercifolia* є добре акліматизованими видами, тоді як *H. macrophylla* є задовільно акліматизованою зі значеннями акліматизаційного числа на рівні 89 та 74, відповідно. У цілому рослини вирізнялися високою зимостійкістю. Лише у рослин *H. macrophylla* упродовж зимового та на початку весни спостерігали обмерзання 50 % довжини однорічних пагонів, тоді як інші види ушкоджень не зазнали. З'ясовано, що більшість досліджених генотипів гортензії характеризується високою пластичністю за ознакою «термін цвітіння – досягання». За покращення умов вологозабезпечення та температурного режиму тривалість даного періоду подовжується. До таких генотипів належать *H. arborescens* Annabelle, *H. arborescens* Arborescens, *H. paniculata* Grandiflora, *H. paniculata* Diamant Rouge, *H. Quercifolia* Alice (коефіцієнт пластичності $b_1 > 1$). Натомість *H. macrophylla* Nikko Blue та *H. macrophylla* Forever and Ever менш чутливо реагують як на покращення, так і на погіршення умов вирощування ($b_1 < 1$).

За показниками пластичності та варіанси стабільності генотипи *H. macrophylla* Nikko Blue і *H. macrophylla* Forever and Ever належать до групи, що краще проявляє зміну ознаки «термін цвітіння – досягання» у несприятливих умовах і є нестабільними. До другої групи віднесено *H. arborescens* Annabelle, *H. arborescens* Arborescens, *H. paniculata* Grandiflora, *H. paniculata* Diamant Rouge, *H. Quercifolia* Alice, для яких характерні кращі показники у сприятливих умовах ($b_i > 1$, $Si^2 > 0$). Рівень стабільності усіх досліджених генотипів був високим та варіював у межах 21,75–66,74.

Таким чином визначено, що усі досліджені види гортензії мають добру та задовільну адаптивну здатність та є перспективними для культивування в умовах Правобережного Лісостепу України.

Ключові слова: пластичність, стабільність, акліматизація, генотип, гортензії.

¹ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри садово-паркового господарства
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: landscape1@meta.ua
ORCID: 0000-0001-7004-1164

² доктор сільськогосподарських наук,
професор кафедри садово-паркового господарства
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: valentin7613@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8157-7028

ASSESSMENT OF THE ADAPTIVE CAPACITY OF *HYDRANGEA* L. SPECIES UNDER THE CONDITIONS OF THE RIGHT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE

M. Yu. Osipov, V. V. Polishchuk

Given ongoing climate change, the search for adapted, ecologically plastic species for use in urban landscaping is highly relevant and of practical importance. The aim of this study was to assess the adaptive capacity of species of the genus *Hydrangea* under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Field studies were conducted from 2020 to 2024 at Uman National University and the National Dendrological Park "Sofiyivka" of the NAS of Ukraine. It was determined that *H. arborescens*, *H. paniculata*, and *H. quercifolia* are well acclimatized species, whereas *H. macrophylla* is moderately acclimatized, with acclimatization indices of 89 and 74, respectively. Overall, the plants exhibited high winter hardiness. Frost damage affecting up to 50% of the length of annual shoots was observed only in *H. macrophylla* during winter and early spring, while no damage was recorded in the other species. It was found that most of the studied hydrangea genotypes are characterized by high plasticity with respect to the "flowering-ripening period." Under improved moisture supply and temperature conditions, the duration of this period increases. The following genotypes belong to this group: *H. arborescens* 'Annabelle', *H. arborescens* 'Arborescens', *H. paniculata* 'Grandiflora', *H. paniculata* 'Diamant Rouge', and *H. quercifolia* 'Alice' (plasticity coefficient $b_1 > 1$). In contrast, *H. macrophylla* 'Nikko Blue' and *H. macrophylla* 'Forever and Ever' are less responsive to both improvements and deteriorations in growing conditions ($b_1 < 1$). Based on plasticity and stability variance (S_1^2), the genotypes *H. macrophylla* 'Nikko Blue' and *H. macrophylla* 'Forever and Ever' belong to a group that shows greater changes in the "flowering-ripening period" trait under unfavorable conditions and is characterized by low stability. The second group includes *H. arborescens* 'Annabelle', *H. arborescens* 'Arborescens', *H. paniculata* 'Grandiflora', *H. paniculata* 'Diamant Rouge', and *H. quercifolia* 'Alice', which demonstrate better performance under favorable conditions ($b_1 > 1$, $S_1^2 > 0$). The stability level of all studied genotypes was high, ranging from 21.75 to 66.74. Thus, it was determined that all studied hydrangea species exhibit good to satisfactory adaptive capacity and are promising for cultivation in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

Key words: plasticity, stability, acclimatization, genotype, hydrangeas.

Вступ

Рослини постійно стикаються з біотичними та абіотичними стресами, які негативно впливають на їх ріст, розвиток та розмноження. У відповідь на дію стресових факторів у них виникають складні механізми адаптації, які проявляються на клітинному, молекулярному та морфологічному рівнях. Ці механізми включають фізіологічні зміни, що надають організму стійкості або резистентності (Dixit et al., 2024; Martinez-Lorente et al., 2024; Lahlali et al., 2025).

Глобальне потепління, яке визначає локальні зміни кліматичних умов істотно впливає на ріст та розвиток рослин за рахунок зміни середніх температурних показників і кількості опадів, що призводить до різного прояву фенотипу (Kumar et al., 2022; Zhou et al., 2022; Janni et al., 2024). Тому, виокремлення сортів, які мають високу екологічну пластичність та стабільність дозволило б залучити їх для створення нових морозостійких та посухостійких видів. Адаптивність є результатом епігемно закріпленої адаптації визначеного виду до нових,

невластивих для природного ареалу, кліматичних умов (Яцик та ін., 2017). Адаптація залежить від ступеня пластичності виду. Адаптивна пластичність дозволяє генотипу мати ширшу толерантність до умов навколишнього середовища та, відповідно, вищу пристосованість до умов середовища (Ghalambor et al., 2007; Mata et al., 2022; Van Heerwaarden et al., 2024).

Поняття адаптації надзвичайно широке за змістом та визначає зміни, які ведуть систему до набуття та закріплення у ній антиентропійних процесів, що сприяють самовідновленню, стабілізації і подальшого розвитку (Малиновський, 2012; Khelalfa & Khelalfa, 2024). Адаптація виду виникає у результаті впливу чинників мінливості та природного добору, а при взаємозв'язку з селекцією є одним з головних факторів розвитку екологічної стратегії сучасних і майбутніх технологій культивування культур (Macel et al., 2007; Вожегова та ін., 2023).

Матеріал і методи

Полеві дослідження з оцінювання генотипів гортензії проводили упродовж

2020–2024 років в Уманському національному університеті та у Національному дендрологічному парку «Софіївка» НАН України.

Оцінку адаптивної здатності проводили відповідно до загальноприйнятої методики (Шкіндер-Барміна, 2010). Акліматизаційне число розраховували для чотирьох видів гортензій: *H. arborescens*, *H. paniculata*, *H. quercifolia* та *H. macrophylla*. Для Ступінь щорічного визрівання пагонів оцінювали за шкалою: I – пагони визрівають повністю на 100 % довжини (20); II – пагони визрівають неповністю на 75 % довжини (15); III – пагони визрівають неповністю на 50 % довжини (10); IV – пагони визрівають неповністю на 25 % довжини (5); V – пагони не визрівають (1). Зимостійкість за шкалою: I. – пошкоджень немає (25); II. – обмерзає менше 50 % довжини однорічних пагонів (20); III. – обмерзає 50–100 % довжини однорічних пагонів (15); IV. – обмерзають дворічні і старіші частини рослин (10); V. – обмерзає крона до рівня снігового покриву (5); VI. – обмерзає вся надземна частина (3); VII. – рослина цілком замерзає (1). Габітус рослини оцінювали за шкалою: I – рослини зберігають властиву їм у природних умовах життєву форму (10); II – більш-менш підмерзають, але відновлюють надземну частину до попередньої висоти і об'єму (5); III – не зберігають характерну для них у природі форму росту, оскільки щорічно підмерзають у ранньому віці (1). Пагонотвірну здатність оцінювали за шкалою: I. – висока - 6 і більше пагонів на одному дворічному пагоні (5); II. – середня - 3–5 пагонів на одному дворічному пагоні (3); III – низька - 2 пагони на одному дворічному пагоні (1). Регулярність росту пагонів визначали за наявністю або відсутністю щорічного приросту основних пагонів із врахуванням віку рослин (щорічний приріст – 5 балів, не щорічний – 2). Здатність рослин до генеративного розвитку визначали за шкалою: I – насіння визріває (25); II. – рослини цвітуть, але плоди не дозрівають (20); III. – рослини цвітуть, але плоди не зав'язуються (15); IV. – не цвітуть (1). Можливі способи розмноження у районі інтродукції оцінювали за шкалою: I – самосів (10); II – штучний посів (7); III – природне вегетативне розмноження (5); IV – штучне вегетативне розмноження (3); V – рослини, які завезені ззовні (1).

У результаті оцінювання семи показників отримували акліматизаційне число, де $A = 100$ відповідає повній акліматизації; $A = 80$ – добрий; $A = 60$ – задовільний;

$A = 40$ – слабкий; $A = 20$ – відсутності акліматизації.

Клімат території дослідження - помірно-континентальний з середньорічною температурою повітря $+7,0-7,7^{\circ}\text{C}$. Найхолоднішим місяцем є січень із середньою температурою повітря $5,6-6,1^{\circ}\text{C}$ нижче нуля, а найбільш теплим – липень з середньою температурою $+19,2-20,8^{\circ}\text{C}$. Територія дослідження знаходиться у зоні нестійкого зволоження. Середня кількість опадів за рік становить 470–490 мм, з яких 300–310 мм випадає у період з температурою повітря вище $+10^{\circ}\text{C}$.

Ґрунти території - чорноземи опідзолені важкосуглинкові з грудкувато-пилуватою структурою. Вміст гумусу в орному шарі ґрунту складає 3,31 %. Гумусовий профіль становить 0–39 см.

Експериментальні дані опрацьовували методом дисперсійного аналізу за Фішером (Fisher, 2006) із застосуванням програмного забезпечення Statistica 6.0 та відповідних методичних рекомендацій (Ермантраут та ін., 2007).

Результати та їх обговорення

Оцінку адаптивності видів гортензії проводили за методикою М. А. Кохна (Кохно і Курдюк, 1994). З'ясовано, що *H. arborescens*, *H. paniculata* та *H. quercifolia* відносяться до добре акліматизованих рослин зі значенням акліматизаційного числа на рівні 89, а гортензія *H. macrophylla* – до задовільнено акліматизованих (табл. 1).

Відповідно до проведених досліджень, ступінь щорічного визрівання пагонів рослин становить 100 % довжини. Зимостійкість рослин – висока. Упродовж зимового та ранньовесняного періоду лише у рослин *H. macrophylla* спостерігали обмерзання довжини однорічних пагонів на 50 %. У інших видів пошкоджень не було. Упродовж вегетації усі види гортензії зберігали властиву їм у природних умовах життєву форму та характеризувалися середньою здатністю до пагоноутворення. Рослини здатні утворювати насіння та розмножуватися генеративним і вегетативним способами.

Пластичність та стабільність видів роду *Hydrangea* визначали за терміном цвітіння. Визначено, що переважна більшість досліджених генотипів гортензії має високу пластичність за ознакою «термін цвітіння – досягання» і за покращення умов вологозабезпечення та температурного режиму тривалість періоду цвітіння-досягання подовжується (табл. 2).

До цієї групи рослин віднесено *H. arborescens Annabelle*, *H. arborescens Arborescens*, *H. paniculata Grandiflora*, *H. paniculata Diamant Rouge*, *H. Quercifolia Alice* з коефіцієнтом пластичності $b_i > 1$, а у генотипів *H. macrophylla Nikko Blue* та *H. macrophylla Forever and Ever*, які менше реагували як на покращення так і на погіршення умов вирощування культури, коефіцієнт пластичності $b_i < 1$. Тобто, до першої групи за коефіцієнтом пластичності і варіансою стабільності віднесено генотипи: *H. macrophylla Nikko Blue* та *H. macrophylla Forever and Ever* з показниками $b_i < 1$, $Si^2 > 0$. Тобто, дані генотипи характеризуються кращим результатами зміни ознаки «термін цвітіння – досягання» у несприятливих умовах і є нестабільними.

До другої групи віднесено види та сорти *H. arborescens Annabelle*, *H. arborescens*

Arborescens, *H. paniculata Grandiflora*, *H. paniculata Diamant Rouge*, *H. Quercifolia Alice*, у яких коефіцієнт пластичності $b_i > 1$, а варіанта стабільності $Si^2 > 0$, тобто вони характеризуються кращими результатами у сприятливих умовах. Ступінь стабільності усіх генотипів був високим коливався у межах 21,75–66,74.

Обговорення

Екологічна пластичність відображає середню реакцію генотипу на зміну умов середовища, а стабільність – відхилення емпіричних даних у кожному середовищі від середньої реакції. Стабільність селекційних матеріалів – це здатність генетично однорідних сортів або порід зберігати свої відмінні ознаки упродовж кількох поколінь, незалежно від умов вирощування. Вона залежить від генетичної однорідності, високої гетерозиготності, правильної класифікації та обліку генетичних особливостей (Марухняк

Таблиця 1

Оцінка адаптивності видів гортензії за основними показниками в умовах Правобережного Лісостепу (середнє за 2021-2024 рр.)

Показники	Види гортензії			
	<i>H. arborescens</i>	<i>H. paniculata</i>	<i>H. quercifolia</i>	<i>H. macrophylla</i>
Ступінь щорічного визрівання	20	20	20	20
Зимостійкість	25	25	25	15
Посухостійкість	3	3	3	3
Габітус рослин	10	10	10	5
Пагонотвірна здатність	3	3	3	3
Здатність рослин до генеративного розвитку	25	25	25	25
Можливі способи розмноження	3	3	3	3
Акліматизаційне число	89	89	89	74

Таблиця 2

Стабільність та пластичність видів гортензії за періодом «цвітіння-досягання»

Вид, сорт гортензії	Тривалість періоду цвітіння (початок-закінчення)					Коефіцієнт пластичності, b_i	Ступінь стабільності, S_d
	2021 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.	X		
<i>H. arborescens Annabelle</i>	102	105	106	110	105,8	1,18	55,63
<i>H. arborescens Arborescens</i>	101	109	110	112	108,0	1,21	66,74
<i>H. paniculata Grandiflora</i>	118	119	119	122	119,5	1,19	56,67
<i>H. paniculata Diamant Rouge</i>	120	122	121	124	121,8	1,20	64,35
<i>H. quercifolia Alice</i>	112	114	114	115	113,8	1,00	36,45
<i>H. quercifolia</i>	110	115	115	117	114,3	1,11	37,52
<i>H. macrophylla Nikko Blue</i>	84	87	88	91	87,5	0,99	22,35
<i>H. macrophylla Forever and Ever</i>	85	88	90	92	88,8	0,98	21,75
Середнє	104,0	107,4	107,9	110,4	107,4	-	-
HP ₀₅	2,1	2,2	2,1	2,0	2,1	-	-

та ін., 2017). Стабільність та пластичність господарсько-біологічних ознак сортозразків зумовлені здатністю генетичних механізмів рослин зводити до мінімуму наслідки негативного впливу навколишнього середовища (Рибальченко, 2021).

Посуху вважають основним фактором, який істотно впливає на ріст та життєздатність рослин в умовах міста, впливаючи як на їх фізіологію, зокрема зниження водного потенціалу листя, закриття продихів, зниження асиміляції CO₂ тощо, так і на біохімію листя - зниження хлорофілу, збільшення виробництва вторинних метаболітів (Detti et al., 2024). Реакція рослин на стрес від посухи включає взаємодію різних фізіологічних та біохімічних параметрів, які можна використовувати як маркери для ідентифікації толерантних видів (Alvarez et al., 2018). Реакції рослин на посуху різні та взаємопов'язані. Пластичність рослин до стресу, спричиненого посухою, варіюється в межах родів, видів (Torrecillas et al., 2003; Toscano et al., 2019) та сортів.

Дослідженнями визначено, що значна кількість генетичного різноманіття *H. quercifolia* у природному ареалі поширення, пояснюється адаптацією до різних факторів навколишнього середовища, окрема опадами та температурними змінними (Sherwood et al., 2023). Рослини пригнічено ростуть на сухих ділянках без додаткового поливу у періоди дефіциту опадів (Bauske et al., 2022).

Згідно отриманих нами результатів досліджень більшість досліджених генотипів гортензії має високу пластичність за ознакою «термін цвітіння – досягання» і за покращення умов вологозабезпечення та температурного режиму тривалість періоду цвітіння-досягання подовжується, що узгоджується з попередньо проведеними дослідженнями.

Дослідженнями (Reed, 2002) встановлено, що продуктивність цвітіння *H. macrophylla* залежала від генотипу та кліматичних умов. Зниження інтенсивності цвітіння пов'язують з пошкодженням надземних частин рослин внаслідок поєднання ранніх осінніх заморозків, низьких зимових температур та пізніх весняних заморозків. Зокрема визначено, що рослини з більшими вимогами до охолодження можуть повільніше реагувати на теплі температури наприкінці зими та на початку весни, що обумовлює меншу схильність до пошкоджень від пізньовесняних заморозків.

Згідно спостережень рослини *H. macrophylla* єдині серед досліджених мали ознаки істотного обмерзання пагонів, що ймовірно могло вплинути на тривалість їх цвітіння, яка була найменшою та коливалася у межах 84–92 днів, залежно від умов року та генотипу.

Таким чином визначено, що стійкість виду є генетично обумовленою та може змінюватися у результаті впливу факторів навколишнього середовища, однак, залишається недостатньо вивченим питання комплексного впливу стресових факторів (посухи, коливання температур, забруднення повітря) на пластичність та стабільність генотипів роду *Hydrangea*, взаємозв'язок між фенологічними фазами розвитку та стійкістю виду, що обумовлює перспективу подальших досліджень.

Висновки

Оцінювання адаптивної здатності чотирьох видів гортензій (*H. arborescens*, *H. paniculata*, *H. quercifolia* та *H. macrophylla*) в умовах Правобережного Лісостепу України проводили відповідно до розрахованого акліматизаційного числа. Визначено, що *H. arborescens*, *H. paniculata* та *H. quercifolia* є добре акліматизованими видами (акліматизаційне число – 89), тоді як *H. macrophylla* можна віднести до задовільно акліматизованих. Досліджені види у переважній більшості відзначалися високою зимостійкістю. Проте, упродовж зимового та ранньовесняного періоду у *H. macrophylla* спостерігали підмерзання однорічних пагонів приблизно на 50 %, тоді як інші види ушкоджень не зазнали. За показниками пластичності та варіанси стабільності ($S_i^2 > 0$) генотипи *H. macrophylla* Nikko Blue і *H. macrophylla* Forever and Ever належать до групи, що краще проявляє зміну ознаки «термін цвітіння – досягання» у несприятливих умовах, але є менш стабільною. Іншу групу становлять *H. arborescens* Annabelle, *H. arborescens* Arborescens, *H. paniculata* Grandiflora, *H. paniculata* Diamant Rouge та *H. quercifolia* Alice, для яких характерні кращі показники у сприятливих умовах ($b_i > 1$, $S_i^2 > 0$). Рівень стабільності усіх досліджених генотипів був високим та коливався у межах 21,75–66,74. Враховуючи отримані результати досліджень, перспективним є поглиблене вивчення комплексного впливу стресових факторів, зокрема посухи, температурних коливань, загазованості повітря, на пластичність та стабільність генотипів роду *Hydrangea*, що сприятиме більш обґрунтованому добору стійких та високодекоративних форм для використання в озелененні.

Список використаної літератури

- Вожегова Р., Тищенко А., Тищенко О., Пілярська О., Фундират К., Коновалова В. Формування стійкості рослин насінневої люцерни в умовах різного екологічного градієнта. *Вісник аграрної науки*. 2023. Вип. 101. № 3. С. 53–62. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202303-08>.
- Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. А. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті STATISTICA 6. Методичні вказівки. Київ, 2007. 55 с.
- Кохно М. А., Курдюк А. М. Теоретичні основи та досвід інтродукції деревних рослин в Україні. К.: Наукова думка, 1994. 184 с.
- Малиновський А. К. Адаптації біосистеми: проблеми методології досліджень. *Наукові записки державного природознавчого музею*. 2012. Вип. 28. С. 25–40.
- Марухняк А. Я., Дацько А. О., Лісова Ю. А., Марухняк Г. І. Пластичність і стабільність кількісних ознак продуктивності голозерних зразків вівса. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2017. Вип. 61. С. 80–90.
- Рибальченко А. М. Пластичність та стабільність господарських ознак колекційних зразків сої. *Зрошуване землеробство*. 2021. № 76. С. 69–74. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.76.13>.
- Шкіндер-Барміна А. М. Зимо- та морозостійкість сортів вишні (*Cerasus vulgaris* Mill.) в умовах півдня Степу України. *Селекція і насінництво*. 2010. Вип. 100. С. 255–263.
- Яцик Р. М., Гайда Ю. І., Гудима В. М. Основи інтродукції та адаптації деревно-кущових видів рослин. Івано-Франківськ: НАІР, 2017. 175 с.
- Alvarez S., Rodriguez P., Broetto F., Sanchez-Blanco M.J. Long term responses and adaptive strategies of *Pistacia lentiscus* under moderate and severe deficit irrigation and salinity: Osmotic and elastic adjustment, growth, ion uptake and photosynthetic activity. *Agric. Water Manag.* 2018. Vol. 202. P. 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.006>.
- Bauske E., Pennisi B., Braman K., Buck J. Native Plants, Drought Tolerance, and Pest Resistance. University of Georgia and Fort Valley State University. 2022. [Electronic resource] URL: https://fieldreport.caes.uga.edu/wp-content/uploads/2025/08/C-1122_6.pdf (access date 17.03.2026).
- Deti C., Gori A., Azzini L., Nicese F. P., Alderotti F., Piccolo E. L., Stella C., Ferrini F., Brunetti C. Drought tolerance and recovery capacity of two ornamental shrubs: Combining physiological and biochemical analyses with online leaf water status monitoring for the application in urban settings. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2024. Vol. 216. P. 109208. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.109208>.
- Dixit S., Sivalingam P.N., Baskaran R.M., Senthil-Kumar M., Ghosh P.K. Plant responses to concurrent abiotic and biotic stress: Unravelling physiological and morphological mechanisms. *Plant Physiol.* 2024. Vol. 29. P. 6–17. <https://doi.org/10.1007/s40502-023-00766-0>.
- Fisher R. A. Statistical methods for research workers. New Delhi: Cosmo Publications, 2006. 354 p.
- Ghalambor C. K., McKay J. K., Carroll S. P., Reznick D. N. Adaptive versus non-adaptive phenotypic plasticity and the potential for contemporary adaptation in new environments. *Functional ecology*. 2007. Vol. 21. № 3. P. 394–407. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01283.x>.
- Janni M., Maestri E., Gulli M., Marmioli M., Marmioli N. Plant responses to climate change, how global warming may impact on food security: a critical review. *Frontiers in plant science*. 2024. Vol. 14. P. 1297569. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1297569>.
- Khelalfa H., Khelalfa K. Stability Criteria in Plant Structures. *Revista Romana de Inginerie Civila*. 2024. Vol. 15. № 4. C. 1–12. <https://doi.org/10.37789/rjce.2024.15.4.13>.
- Kumar L., Chhogyel N., Gopalakrishnan T., Hasan M. K., Jayasinghe S. L., Kariyawasam C. S. «Chapter 4 - Climate change and future of agri-food production» *Future foods*. 2022. P. 49–79. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91001-9.00009-8>.
- Lahlali R., Laasli S. E., Ait Barka E. Plant responses to biotic and abiotic stresses: From cellular to morphological changes - Series II. *Agronomy*. 2025. Vol. 15. № 1. P. 229. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010229>.
- Macel M., Lawson C. S., Mortimer S. R., Smilauerova M., Bischoff A., Cremieux L., Steinger T. Climate vs. soil factors in local adaptation of two common plant species. *Ecology*. 2007. Vol. 88. №2. C. 424–433. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2007\)88\[424:CVSFL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2007)88[424:CVSFL]2.0.CO;2).
- Martinez-Lorente S.E., Marti-Guillen J.M., Pedreno M.A., Almagro L., Sabater-Jara A.B. Higher Plant-Derived Biostimulants: Mechanisms of Action and Their Role in Mitigating Plant Abiotic Stress. *Antioxidants*. 2024. Vol. 13. P. 318. <https://doi.org/10.3390/antiox13030318>.
- Mata R., Zas R., Bustingorri G., Sampedro L., Rust M., Hernandez-Serrano A., Sala A. Drivers of population differentiation in phenotypic plasticity in a temperate conifer: A 27-year study. *Evolutionary Applications*. 2022. Vol. 15. № 11. P. 1945–1962. <https://doi.org/10.1111/eva.13492>.
- Reed S. M. Flowering performance of 21 *Hydrangea macrophylla* cultivars. *Journal of Environmental Horticulture*. 2002. Vol. 20. № 3. P. 155–160. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-20.3.155>.

Sherwood A., Alexander L. W., Clark M. D., Wu X., Hokanson S. C. Precipitation, temperature, and population structure influence genetic diversity of oakleaf hydrangea throughout its native range. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 2023. Vol. 148. № 1. P. 29–41. <https://doi.org/10.21273/JASHS05255-22>.

Torrecillas A., Rodriguez P., Sanchez-Blanco M.J. Comparison of growth, leaf water relations and gas exchange of *Cistus albidus* and *C. monspeliensis* plants irrigated with water of different NaCl salinity levels. *Sci. Hortic.* 2003. Vol. 97. P. 353–368. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00161-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00161-9).

Toscano S., Ferrante A., Romano D. Response of Mediterranean ornamental plants to drought stress. *Horticulturae*. 2019. Vol. 5. № 1. P. 6. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5010006>.

Van Heerwaarden B., Sgro C., Kellermann V. M. Threshold shifts and developmental temperature impact trade-offs between tolerance and plasticity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2024. Vol. 291. № 2016. <https://doi.org/10.1098/rspb.2023.2700>.

Zhou Y., Xu F., Shao Y., He J. Regulatory mechanisms of heat stress response and thermo morphogenesis in plants. *Plants*. 2022. Vol. 11. P. 3410. <https://doi.org/10.3390/plants11243410>.

References

Vozhehova, R., Tyshchenko, A., Tyshchenko, O., Piliarska, O., Fundyrat, K., & Konovalova, V. (2023). Formuvannya stiihosti roslyn nasinnievoi liutserny v umovakh riznogo ekolohichnoho hradianta [Formation of resistance of alfalfa seed plants under different ecological gradients]. *Visnyk ahraryoi nauky [Bulletin of Agricultural Science]*, 101 (3), 53–62. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202303-08> [in Ukrainian].

Ermantraut, E. R., Prysiashniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). Statystychnyi analiz ahronomichnykh doslidnykh danykh v paketi STATISTICA 6. Metodychni vkazivky [Statistical analysis of agronomic research data in STATISTICA 6. Methodological guidelines]. Kyiv, 55 [in Ukrainian].

Kokhno, M. A., & Kurdiuk, A.M. (1994). Teoretychni osnovy ta dosvid introduktsii derevnykh roslyn v Ukraini [Theoretical foundations and experience of introducing woody plants in Ukraine]. K.: Naukova dumka, 184 [in Ukrainian].

Malynovskyi, A. K. (2012). Adaptatsii biosystemy: problemy metodolohii doslidzhen [Biosystem adaptations: problems of research methodology]. *Naukovi zapysky derzhavnoho pryrodoznavchoho muzeiu [Scientific notes of the State Museum of Natural History]*, 28, 25–40 [in Ukrainian].

Marukhniak, A. Ya., Datsko, A. O., Lisova, Yu. A., & Marukhniak, H. I. (2017). Plastychnist i stabilnist kilkisnykh oznak produktyvnosti holozernykh zrazkiv vivsa [Plasticity and stability of quantitative traits of productivity of bare-grain oat samples]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo [Foothill and Mountain Agriculture and Livestock]*, 61, 80–90 [in Ukrainian].

Rybalchenko, A. M. (2021). Plastychnist ta stabilnist hospodarskykh oznak kolektsiinykh zrazkiv soi [Plasticity and stability of economic traits of soybean collection samples]. *Zroshuvane zemlerobstvo [Irrigated Agriculture]*, 76, 69–74. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.76.13> [in Ukrainian].

Shkinder-Barmina, A.M. (2010). Zymo- ta morozostiikist sortiv vyshni (*Cerasus vulgaris* Mill.) v umovakh pivdnia Stepu Ukrainy [Winter and frost resistance of cherry varieties (*Cerasus vulgaris* Mill.) in the conditions of the southern Steppe of Ukraine]. *Selektsiia i nasinnnytstvo [Breeding and seed production]*, 100, 255–263 [in Ukrainian].

Yatsyk, R.M., Haida, Yu.I., & Hudyma, V.M. (2017). Osnovy introduktsii ta adaptatsii derevno-kushchovykh vydiv roslyn [Basics of introduction and adaptation of woody-shrub species of plants]. Ivano-Frankivsk : NAIR, 175 [in Ukrainian].

Alvarez, S., Rodriguez, P., Broetto, F., & Sanchez-Blanco, M.J. (2018). Long term responses and adaptive strategies of *Pistacia lentiscus* under moderate and severe deficit irrigation and salinity: Osmotic and elastic adjustment, growth, ion uptake and photosynthetic activity. *Agric. Water Manag.*, 202, 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.006> [in English].

Bauske, E., Pennisi, B., Braman, K., & Buck, J. (2022). Native Plants, Drought Tolerance, and Pest Resistance. University of Georgia and Fort Valley State University. Circular 1122. [Electronic resource] URL: https://fieldreport.caes.uga.edu/wp-content/uploads/2025/08/C-1122_6.pdf (access date 17.03.2026) [in English].

Deti, C., Gori, A., Azzini, L., Nicese, F. P., Alderotti, F., Piccolo, E. L., Stella, C., Ferrini, F., & Brunetti, C. (2024). Drought tolerance and recovery capacity of two ornamental shrubs: Combining physiological and biochemical analyses with online leaf water status monitoring for the application in urban settings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 216, 109208. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.109208> [in English].

Dixit, S., Sivalingam, P.N., Baskaran, R.M., Senthil-Kumar, M., & Ghosh, P.K. (2024). Plant responses to concurrent abiotic and biotic stress: Unravelling physiological and morphological mechanisms. *Plant Physiol.*, 29, 6–17. <https://doi.org/10.1007/s40502-023-00766-0> [in English].

- Fisher R. A. Statistical methods for research workers. New Delhi: Cosmo Publications, 2006. 354 [in English]
- Ghalambor, C. K., McKay, J. K., Carroll, S. P., & Reznick, D. N. (2007). Adaptive versus non-adaptive phenotypic plasticity and the potential for contemporary adaptation in new environments. *Functional ecology*, 21 (3), 394–407. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01283.x> [in English]
- Janni, M., Maestri, E., Gulli, M., Marmioli, M., & Marmioli, N. (2024). Plant responses to climate change, how global warming may impact on food security: a critical review. *Frontiers in plant science*, 14, 1297569. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1297569> [in English]
- Khelalfa, H., & Khelalfa, K. (2024). Stability Criteria in Plant Structures. *Revista Romana de Inginerie Civila*, 15 (4), 1–12. <https://doi.org/10.37789/rjce.2024.15.4.13> [in English]
- Kumar, L. Chhogyel, N. Gopalakrishnan, T. Hasan, M. K. Jayasinghe, S. L. & Kariyawasam, C. S. (2022). Chapter 4 - Climate change and future of agri-food production. *Future foods*, 49–79. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91001-9.00009-8> [in English]
- Lahlali, R., Laasli, S. E., & Ait Barka, E. (2025). Plant responses to biotic and abiotic stresses: From cellular to morphological changes–Series II. *Agronomy*, 15 (1), 229. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010229> [in English]
- Macel, M., Lawson, C. S., Mortimer, S. R., Smilauerova, M., Bischoff, A., Crémieux, L., & Steinger, T. (2007). Climate vs. soil factors in local adaptation of two common plant species. *Ecology*, 88 (2), 424–433. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2007\)88\[424:CVSFIJ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2007)88[424:CVSFIJ]2.0.CO;2) [in English]
- Martinez-Lorente, S.E., Marti-Guillen, J.M., Pedreno, M.A., Almagro, L., & Sabater-Jara, A.B. (2024). Higher Plant-Derived Biostimulants: Mechanisms of Action and Their Role in Mitigating Plant Abiotic Stress. *Antioxidants*, 13, 318. <https://doi.org/10.3390/antiox13030318> [in English]
- Mata, R., Zas, R., Bustingorri, G., Sampedro, L., Rust, M., Hernandez-Serrano, A., & Sala, A. (2022). Drivers of population differentiation in phenotypic plasticity in a temperate conifer: A 27-year study. *Evolutionary Applications*, 15 (11), 1945–1962. <https://doi.org/10.1111/eva.13492> [in English]
- Reed, S. M. (2002). Flowering performance of 21 *Hydrangea macrophylla* cultivars. *Journal of Environmental Horticulture*, 20(3), 155–160. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-20.3.155> [in English]
- Sherwood, A., Alexander, L. W., Clark, M. D., Wu, X., & Hokanson, S. C. (2023). Precipitation, temperature, and population structure influence genetic diversity of oakleaf hydrangea throughout its native range. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 148(1), 29–41. <https://doi.org/10.21273/JASHS05255-22> [in English]
- Torrecillas, A., Rodriguez, P., & Sanchez-Blanco, M.J. (2003). Comparison of growth, leaf water relations and gas exchange of *Cistus albidus* and *C. monspeliensis* plants irrigated with water of different NaCl salinity levels. *Sci. Hortic.*, 97, 353–368. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00161-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00161-9) [in English]
- Toscano, S., Ferrante, A., & Romano, D. (2019). Response of Mediterranean ornamental plants to drought stress. *Horticulturae*, 5(1), 6. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5010006> [in English]
- Van Heerwaarden, B., Sgrò, C., & Kellermann, V. M. (2024). Threshold shifts and developmental temperature impact trade-offs between tolerance and plasticity. *Proceedings of the Royal Society B*, 291 (2016). <https://doi.org/10.1098/rspb.2023.2700> [in English]
- Zhou, Y., Xu, F., Shao, Y., & He, J. (2022). Regulatory mechanisms of heat stress response and thermo morphogenesis in plants. *Plants*, 11, 3410. <https://doi.org/10.3390/plants11243410> [in English]

Дата першого надходження статті до видання: 24.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 13.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 16
Український журнал природничих наук
№ 16

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 633.491:632.4:551.58(477.41)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.24>

ВПЛИВ МІЖРІЧНОЇ ТА ДЕКАДНОЇ МІНЛИВОСТІ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА РОЗВИТОК АЛЬТЕРНАРІОЗУ КАРТОПЛІ В УМОВАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

Н. В. Писаренко¹, М. М. Фурдига², Н. А. Захарчук³, Т. М. Олійник⁴

Трирічні польові дослідження (2023–2025 рр.), проведені на дерново-підзолистих піщаних ґрунтах Поліського дослідного відділення Інституту картоплярства НААН, засвідчили кумулятивний характер впливу агрометеорологічних чинників на розвиток альтернаріозу картоплі. Для аналізу погодних умов використано дані глобального реаналізу NASA POWER (MERRA-2), що дозволило оцінити середньодекадну динаміку температури повітря і ґрунту, вологості ґрунту (GWETTOP), сумарної сонячної радіації, швидкості вітру та кількості опадів у синхронізації з фітопатологічними обліками у фіксовані фенофази (60–105-та доба від садіння). Досліджено сорти та гібриди картоплі ранньої, середньоранньої та середньостиглої груп стиглості. Оцінку ураження альтернаріозом проводили за 9-бальною шкалою в умовах природного розвитку хвороби у польовій сівозміні селекційних розсадників без застосування фунгіцидів. Встановлено закономірне зниження балової оцінки стійкості від I до IV фітопатологічного обліку, що відображає кумулятивний характер впливу агрометеорологічних чинників упродовж вегетації, найбільш виражений у ранньостиглих форм (67,1 %). Міжрічна варіабельність показників зростала до 14,8–19,0 % у другій половині вегетації, що свідчить про посилення модифікуючої ролі погодних чинників. Екстремальні агрометеорологічні умови 2024 року зумовили мінімальні показники стійкості

¹ кандидат сільськогосподарських наук,
завідувач лабораторії селекції і насінництва картоплі
(Поліське дослідне відділення Інститут картоплярства НААН України,
м. Малин, Житомирська обл.)
e-mail: pisarenkonatalia1978@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6299-2170

² кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, директор
(Інститут картоплярства НААН України, м. Буча, Київська обл.)
e-mail: furduga-m@meta.ua
ORCID: 0000-0002-9398-0487

³ кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, вчений секретар
(Інститут картоплярства НААН України, м. Буча, Київська обл.)
e-mail: vs_potato@meta.ua
ORCID: 0000-0002-8194-2491

⁴ кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, доцент,
заступник директора з наукової роботи
(Інститут картоплярства НААН України, м. Буча, Київська обл.)
e-mail: oliyniktm@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7235-9413

у всіх групах стійкості. Кореляційний аналіз виявив статистично значущий негативний зв'язок балів стійкості з кумулятивною сонячною радіацією та температурними показниками, тоді як вологість ґрунту GWETTOP виконувала компенсаторну роль. Індекс сприятливості альтернаріозу (ISA) не продемонстрував прогностичної інформативності в умовах посушливого вегетаційного періоду. Обґрунтовано оптимальні строки селекційної оцінки та можливість добору адаптивних генотипів на природному інфекційному фоні з урахуванням змін клімату.

Ключові слова: *Solanum tuberosum* L., *Alternaria* spp., агрометеорологічні умови, дані реаналізу NASA POWER, кумулятивні показники, індекс сприятливості альтернаріозу (ISA), міжрічна мінливість, стійкість селекційного матеріалу.

INFLUENCE OF INTERANNUAL AND DECADEAL VARIABILITY OF AGROMETEOROLOGICAL FACTORS ON THE DEVELOPMENT OF POTATO EARLY BLIGHT UNDER THE CONDITIONS OF THE CENTRAL POLISSIA OF UKRAINE

N. V. Pysarenko, M. M. Furdyha, N. A. Zakharchuk, T. M. Oliinyk

Three-year field experiments (2023 – 2025) conducted on sod-podzolic sandy soils at the Polissia Research Department of the Institute for Potato Research, NAAS of Ukraine demonstrated the cumulative nature of the influence of agrometeorological factors on the development of potato early blight. Weather conditions were analysed using data from the NASA POWER global reanalysis (MERRA-2), which enabled assessment of ten-day average air and soil temperature, soil moisture (GWETTOP), cumulative solar radiation, wind speed, and precipitation, synchronized with phytopathological assessments conducted at fixed phenological stages (60–105 days after planting). Potato varieties and hybrids representing early-, middle-early-, and mid-season maturity groups were evaluated. Early blight severity was assessed using a 9-point scale under the conditions of natural disease development in a field crop rotation of breeding nurseries without fungicide application. A consistent decline in resistance scores from the first to the fourth phytopathological assessment was recorded, reflecting the cumulative impact of agrometeorological factors throughout the growing season, most pronounced in early-ripening genotypes (67.1%). Interannual variability increased to 14.8 – 19.0% during the second half of the growing season, indicating an enhanced modifying role of weather conditions. Extreme agrometeorological conditions in 2024 resulted in the lowest resistance levels across all maturity groups. Correlation analysis revealed a statistically significant negative relationship between resistance scores and cumulative solar radiation and temperature indices, whereas soil moisture GWETTOP exhibited a compensatory effect. The Early Blight Suitability Index (EBSI), did not demonstrate sufficient predictive value under drought-prone growing season conditions. Optimal timeframes for breeding evaluation and the feasibility of selecting adaptive genotypes under natural infection pressure, considering ongoing climate change, were substantiated.

Key words: *Solanum tuberosum* L., *Alternaria* spp., agrometeorological conditions, NASA POWER reanalysis data, cumulative indicators, early blight suitability index (EBSI), interannual variability, resistance of breeding material.

Вступ

Альтернаріоз картоплі, спричинений некротрофними грибами роду *Alternaria*, залишається одним із найбільш поширених і стабільно шкідливих листових хвороб у зоні Полісся України (Плотницька та ін., 2023; Федорчук та ін., 2024). Інтенсифікація епіфітотійного розвитку хвороби на фоні кліматичних змін призводить до економічних втрат врожаю на рівні 30–50 % за відсутності фунгіцидного захисту (Chaudhary et al., 2021; Гаврилюк і Рожок, 2023). В умовах дерново-підзолистих піщаних ґрунтів, що характеризуються низькою вологоутримувальною здатністю, розвиток хвороби

значною мірою модифікується погодними чинниками, насамперед температурним режимом, інсоляцією та вологозабезпеченням ґрунту.

Для селекційної практики це ускладнює інтерпретацію результатів польової оцінки, оскільки рівень прояву альтернаріозу формується не лише генетичними особливостями матеріалу, а й кумулятивним впливом агрометеорологічних умов упродовж вегетаційного періоду. Традиційна селекційна оцінка стійкості картоплі до альтернаріозу в Україні переважно базується на локальних метеорологічних спостереженнях або узагальненій характеристиці погодних умов

року, що обмежує можливість кількісного аналізу міжрічної мінливості та ускладнює порівняння результатів між роками і групами стиглості (Тактаєв і Подберезко, 2020; Писаренко та ін., 2025). У цьому контексті встановлення кількісних закономірностей впливу агрометеорологічних чинників на розвиток альтернаріозу є необхідною передумовою для оптимізації селекційних програм і систем інтегрованого захисту рослин.

Сучасні дослідження альтернаріозу картоплі фокусуються на трьох основних напрямках: ідентифікації видового складу збудників та їх патогенних властивостей, розробці систем прогнозування епіфітотій на основі метеорологічних даних, створенні стійких сортів методами класичної та молекулярної селекції. Видовий склад збудників альтернаріозу картоплі характеризується значною варіабельністю залежно від географічного регіону. У більшості країн Європи та Північної Америки домінує *Alternaria solani*, тоді як у регіонах із вираженим континентальним кліматом зростає частка *A. alternata* (Abuley et al., 2018; Ding et al., 2018; Li et al., 2024; Park et al., 2024). Дослідження останніх років засвідчили формування комплексних популяцій патогену з різною агресивністю та чутливістю до фунгіцидів (Schmey et al., 2024).

Прогнозування епіфітотійного розвитку альтернаріозу базується переважно на використанні метеорологічних індексів, розроблених для біотрофних патогенів. Широке застосування набули системи FAST (Forecasting *Alternaria solani* on Tomatoes) та Tom-Cast, які враховують тривалість зволоження листкової поверхні та температурний режим (Abuley & Nielsen, 2017; Meno et al., 2020). Проте ефективність цих моделей для некротрофних патогенів за умов водного дефіциту залишається обмеженою, що зумовлює необхідність адаптації прогностичних систем до регіональних агрокліматичних умов.

Селекція картоплі на стійкість до альтернаріозу ускладнюється полігенним характером резистентності та відсутністю високо-ефективних R-генів вертикальної стійкості (Abuley et al., 2018; Xue et al., 2019; Odilbekov et al., 2020). Сучасні селекційні програми орієнтовані на створення генотипів із комплексною стійкістю, яка поєднує анатомо-морфологічні бар'єри та біохімічні механізми захисту (Alizadeh-Moghaddam et al., 2024). Перспективним напрямом є використання маркер-асоційованої селекції (MAS)

на основі SNP-маркерів, зчеплених із QTL стійкості до альтернаріозу (Odilbekov et al., 2020; Xue et al., 2022).

Водночас реалізація потенціалу кількісної стійкості значною мірою визначається умовами середовища, насамперед гідротермічним режимом та динамікою вологості листкової поверхні впродовж вегетації. Більшість фітопатологічних досліджень ґрунтується на аналізі окремих погодних показників у момент обліку або на використанні даних локальних метеостанцій, що не відображає кумулятивного характеру впливу агрометеорологічних чинників на розвиток некротрофних патогенів. Останніми роками показано, що дані глобальних кліматичних реаналізів і супутникових продуктів (ERA5, NASA POWER) можуть бути ефективно використані для реконструкції тривалості листкової вологості, температурних та радіаційних умов, які є ключовими драйверами розвитку грибних хвороб рослин (Asadi & Tian, 2021; Madden, 2025). Проте інтеграція таких даних у регіональні моделі фітопатологічного моніторингу та селекційної оцінки залишається обмеженою, незважаючи на їх доступність і часову безперервність.

Виділення невирішених частин проблеми. Попри значний обсяг досліджень, недостатньо вивченими залишаються закономірності впливу кумулятивних агрометеорологічних показників (сумарної сонячної радіації, середньої вологості ґрунту, кумулятивної температури) на динаміку стійкості селекційного матеріалу картоплі різних груп стиглості впродовж вегетації. Відсутні кількісні дані щодо сили зв'язку окремих погодних чинників із бальною оцінкою стійкості для умов дерново-підзолистих піщаних ґрунтів Центрального Полісся України. Не апробовано прогностичну цінність існуючих індексів сприятливості альтернаріозу, як некротрофного патогена, за умов водного дефіциту, характерного для піщаних ґрунтів регіону. Не встановлено критичні періоди вегетації, у які диференціація генотипів за рівнем стійкості є максимальною, що необхідно для оптимізації строків селекційної оцінки.

Метою досліджень було встановити кількісні закономірності впливу кумулятивних агрометеорологічних чинників на розвиток альтернаріозу та стійкість селекційного матеріалу картоплі в умовах Центрального Полісся України на основі даних глобального реаналізу NASA POWER за контрастних погодних умов 2023–2025 рр.

Завдання дослідження: 1. Оцінити інформативність даних глобального реаналізу NASA POWER для регіонального аналізу агрометеорологічних умов вегетаційного періоду картоплі в Поліссі України. 2. Визначити динаміку бальної оцінки стійкості селекційного матеріалу різних груп стиглості (ранньої, середньоранньої, середньостиглої) до альтернативності у фіксованій фенофазі вегетації (60–105-та доба від садіння). 3. Кількісно встановити кореляційні зв'язки між кумулятивними показниками температурного режиму, вологозабезпечення ґрунту, сонячної радіації та рівнем ураженості генотипів картоплі. 4. Апробувати індекс сприятливості альтернативності (ISA) для оцінки його прогностичної придатності в умовах піщаних ґрунтів Центрального Полісся.

Матеріал і методи

Дослідження впливу агрометеорологічних умов на розвиток альтернативності картоплі проводили у 2023–2025 рр. у польовій сівоzmіні Поліського дослідного відділення Інституту картоплярства НААН (Житомирське Полісся) на природному інфекційному фоні. Об'єктом дослідження був агроценоз картоплі, представлений сортами та перспективними гібридами різних груп стиглості, створеними в Поліському дослідному відділенні та Інституті картоплярства НААН. Перелік досліджуваних генотипів за роками наведено нижче.

2023 р.

– ранньостигла група: сорти – Тирас, Радомисль, Взірець, Слаута; гібриди – П.17.19-12, П.14.3/5, П.17.24-26, П.17.38/4, П.17.19-26, П.17.12/16, П.17.44-1, П.17.8-28, 3.16.50-16, П.16.16-9, П.17.9-5, Г.10.20/1;

– середньоранні: сорти – Межирічка 11, Опілля, Партнер; гібриди – 3.16.40/2, П.17.38/16, П.13.52-11, П.15.56-10, П.18.87/2, 3.14.73/9, П.15.43-7, П.17.20-13, П.17.24/50, П.17.28-2, П.17.20-13, П.17.20-30, П.17.29/21, П.17.13/7, П.15.5/27, П.19.53/6, П.16.28-7, Г.10.6/23, Г.08.194/119;

– середньостиглі: сорти – Базалія, Чарунка, Іванківська рання, Летана, Дивина, Житниця, Серпанок, Мирослава; гібриди – Г.11.23/12, Г.13.37с⁵, Г.10.6/7, Г.12.99/5, Г.10.9/8, 3.16.59-10, П.17.18/9, П.17.21/36, П.17.39/22, П.17.34/8, П.17.2/5, П.17.38-56, П.18.78/1, П.17.1-4, П.17.19-21, П.17.4/13, П.17.30-3, П.17.43/1, П.18.51/3, П.18.75/30, 3.15.96/4, П.18.87/4, 3.14.64-2.

2024 р.

– ранньостигла група: сорти – Тирас, Радомисль, Взірець, Слаута; гібриди – Г.10.20/1, П.17.20-30, П.19.15/41, П.19.18/5, П.19.19/3, П.19.20/14, П.19.48/2, П.19.12/10, П.19.47/25, П.19.15/13, П.18.42-10, 3.16.50-16, П.17.24-26, П.17.38/4, П.17.44-1, П.16.16-9, П.17.19-26, П.17.20-3, П.19.15/16, П.17.12/16, П.17.9-5, П.17.8-28;

– середньорання група: сорти – Межирічка 11, Опілля, Партнер, Фанатка, Авангард, Світана; гібриди – Г.08.194/119, Г.10.6/23, П.15.5/27, П.17.29/21, П.15.56-10, П.19.14/1, П.19.18/11, П.19.23/7, П.19.27/5, П.19.33/2, П.19.39/1, 3.16.40/2, П.17.38/16, П.18.87/2, П.17.20-13, П.17.28-2, П.19.15/18, П.17.13/7;

– середньостигла група: сорти – Роставиця, Базалія, Предслава, Іванківська рання, Летана, Дивина, Житниця, Серпанок, Мирослава; гібриди – Г.13.37с⁵, Г.10.6/7, Г.12.99/5, 3.14.64-2, П.18.51/3, П.17.30-3, П.18.78/1, П.17.34/8, 3.16.59-10, П.17.39/22, 3.15.96/4, П.17.1-4, П.17.24/50, П.17.4/13, П.17.43/1, П.17.19-21, П.17.21/36, П.17.2/5, П.17.18/9, П.18.75/30, П.17.38-56, П.18.87/4.

2025 р.

– ранньостигла група: сорти – Тирас, Радомисль, Взірець, Слаута; гібриди – П.19.20/14, П.19.47/25, П.19.15/13, П.18.42-10, П.17.24-26, П.17.44-1, П.16.16-9, П.17.20-3, П.19.15/16, П.19.27/5, П.18.75-5, П.19.68/15, П.19.23/7, П.19.18/11, 3.19.60/4, П.19.18/5, П.19.19/3, П.19.15/43, П.19.48/2, П.19.12/10;

– середньорання група: сорти – Межирічка 11, Опілля, Партнер, Фанатка, Авангард, Світана, Вигода; гібриди – П.15.5/27, П.17.29/21, П.15.56-10, П.17.19-26, П.17.1-4, П.19.70/21, П.19.47/37, 3.19.54/3, П.18.76-10, П.19.30/5, П.19.39/1, 3.16.40/2, П.17.38/16, П.18.87/2, П.17.20-13, П.17.13/7, П.19.15/18;

– середньостигла група: сорти – Роставиця, Базалія, Чарунка, Сонцедар, Предслава, Іванківська рання, Летана, Сингаївка, Джавеліна, Житниця, Серпанок, Мирослава; гібриди – П.19.74/2, Г.10.6/23, П.19.32/13, П.18.83-19, П.19.53/5, П.19.26/15, П.18.51/3, П.17.30-3, П.18.78/1, П.17.34/8, 3.16.59-10, П.17.39/22.

До ранньої групи належали генотипи з тривалістю вегетаційного періоду 92–102 доби,

до середньоранньої – 103–113, до середньостиглої – 114–124 діб. Розподіл генотипів за групами стиглості визначали щорічно за фактичною тривалістю вегетаційного періоду в умовах досліджень, що могло зумовлювати віднесення окремих генотипів до різних груп стиглості в різні роки. Кількісний склад селекційного матеріалу змінювався залежно від року досліджень, що зумовлено специфікою селекційного процесу (щорічний добір перспективних форм і вибраковування малопридатних генотипів). Окремі генотипи досліджували протягом кількох років, що дозволило оцінити стабільність їх реакції на агрометеорологічні умови.

Ґрунтовий покрив дослідного поля представлений дерново-підзолистими піщаними ґрунтами, типовими для Центрального Полісся України. Гранулометричний склад характеризувався переважанням піщаної фракції (93–96 %) за низького вмісту глини (5,0–6,4 %). Вміст гумусу не перевищував 0,8 %, ємність катіонного обміну становила 2,0–3,0 мг-екв/100 г ґрунту, гідролітична кислотність – 1,0–2,5 мг-екв/100 г. Реакція ґрунтового розчину кисла (рН сольової витяжки 4,0–4,6).

Садіння проводили за схемою 70×30 см, що відповідало густоті стояння рослин близько 47,6 тис. рослин/га. Кожний генотип вирощували на окремій дворядковій обліковій ділянці площею 6,5 м². Дослід закладали у трикратній повторності, ділянки розміщували послідовно. Фітопатологічні обліки розвитку альтернаріозу проводили на ділянках із найбільш вирівняним проявом інфекційного процесу, що забезпечувало коректність порівняння генотипів за рівнем ураження в умовах природного інфекційного фону, з урахуванням просторової неоднорідності поширення хвороб у польових агроценозах (Madden & Hughes, 1999; Robertson, 2008). Вирощування картоплі здійснювали відповідно до загальноприйнятої технології для зони Полісся України згідно з рекомендаціями Інституту картоплярства НААН (Картоплярство: методика дослідної справи, 2019). З метою об'єктивної оцінки розвитку альтернаріозу фунгіцидні обробки впродовж періоду фітопатологічних обліків (від бутонізації до масового формування врожаю) не проводили. Фітопатологічні обліки ураження рослин картоплі грибами роду *Alternaria* spp. розпочинали у фазі бутонізації; наступні обліки проводили з інтервалом 10–15 (до 20) діб. Інтенсивність розвитку хвороби оцінювали за площею ураженої

листової поверхні з використанням 9-бальної шкали: 9 балів – дуже висока стійкість (<5 % ураження), 8 – висока (5–10 %), 7–6 – стійкі (11–30 %), 5–4 – середня (31–50 %), 3–2 – слабостійкі (51–75 %), 1 бал – низька стійкість (>75 %) (Трибель та ін., 2013). Бальна система забезпечувала інтегральну оцінку стійкості та дозволяла коректно аналізувати динаміку розвитку альтернаріозу без переведення показників у відсоткову форму. Обліки проводили у фіксовані фенофази розвитку рослин, синхронізовані з кількістю діб від садіння (60–105-та доба), що відповідає критичним періодам розвитку альтернаріозу картоплі. Такий підхід забезпечував відтворюваність результатів за роками досліджень незалежно від відмінностей календарних строків вегетації. Агрометеорологічні показники для вегетаційних періодів 2023–2025 рр. отримували з бази даних NASA POWER Project, сформованої на основі глобального реаналізу MERRA-2 з просторовою роздільністю 0,5° × 0,625°. Дані екстрагували для координат 50,8° пн. ш., 29,2° сх. д. (с. Федорівка, Коростенський район, Житомирська область). Для аналізу використовували середньодакдні значення температури повітря та ґрунту (°C), кількості опадів (мм), відносної вологості повітря (%), вологості ґрунту (GWETTOP), сумарної сонячної радіації (MJ·m⁻²·day⁻¹) та швидкості вітру на висоті 2 м (WS2M, м·с⁻¹), синхронізовані з датами проведення фітопатологічних обліків. Для інтерпретації впливу окремих агрометеорологічних чинників застосовували порогові інтервали їх значень. Вологість ґрунту (GWETTOP) класифікували як критично низьку (0,00–0,20), недостатню (0,21–0,40), оптимальну (0,41–0,70) та надмірну (0,71–1,00). Швидкість вітру розглядали як чинник механічного перенесення конідій *Alternaria* spp., ефективний у межах 2,0–3,5 м·с⁻¹. Сумарну сонячну радіацію інтерпретували за градаціями інсоляції від низької (<12 MJ·m⁻²·day⁻¹) до екстремально високої (>28 MJ·m⁻²·day⁻¹).

Слід зазначити, що агрометеорологічні дані NASA POWER мають модельний характер і відображають усереднені значення в межах просторової комірки реаналізу, що може зумовлювати відмінності порівняно з локальними наземними спостереженнями, особливо щодо короткочасних опадів. У зв'язку з цим зазначені дані використовували для регіонального аналізу та інтерпретації впливу погодних умов на розвиток альтернаріозу.

Для інтегральної оцінки погодної сприятливості розвитку альтернаріозу було запропоновано узагальнений індекс сприятливості (ISA), що поєднує кумулятивні показники опадів, вологості ґрунту та температурного режиму. Формула індексу має евристичний характер і була використана як експериментальний інтегральний показник для перевірки можливості узагальнення агрометеорологічних умов у вигляді єдиного числового параметра. Основною метою було оцінити його потенційну прогностичну придатність для умов піщаних ґрунтів Центрального Полісся. Індекс сприятливості розвитку альтернаріозу (ISA – Index of Suitability for *Alternaria*) розраховували за формулою:

$$ISA = \left(\frac{\sum \text{Oпадів}}{50} \right) \times (\overline{M} \text{ GWETTOP} \times 100) \times k_{\text{temp}}$$

де $\sum$ Опадів – кумулятивна сума опадів (мм), $\overline{M}$ GWETTOP – середня вологість ґрунту, k_{temp} – температурний коефіцієнт (0,5 при $T < 18^\circ\text{C}$; 1,0 при $18\text{--}28^\circ\text{C}$; 0,3 при $T > 28^\circ\text{C}$). Усі показники розраховували від початку вегетації до моменту обліку.

Статистичний аналіз виконували за допомогою описової статистики та аналізу динаміки показників у часі, з урахуванням особливостей польових оцінок на облікових ділянках кожного генотипу. Для узагальнення результатів визначали середні значення ($\overline{M}$), стандартне відхилення (SD) та коефіцієнт варіації (CV). Достовірність змін бальної оцінки стійкості між послідовними обліками в межах однієї групи стиглості оцінювали за допомогою непараметричного критерію Фрідмана для пов'язаних вибірок з порядковою шкалою вимірювання. Взаємозв'язки між агрометеорологічними показниками та балами стійкості аналізували з використанням коефіцієнта рангової кореляції Спірмена, що зумовлено ординальним характером 9-бальної шкали, відсутністю вимог до нормальності розподілу та обмеженням обсягом вибірки ($n = 12$). Міжгрупові відмінності за рівнем стійкості за IV обліку оцінювали шляхом порівняння середніх значень із подальшим групуванням за рівнем статистичної значущості при $p < 0,05$.

Результати

Агрометеорологічні умови вегетаційних періодів 2023–2025 рр. та їх роль у розвитку альтернаріозу. Агрометеорологічні умови вегетаційних періодів 2023–2025 рр. істотно різнилися за рівнем теплозабезпечення, вологозабезпечення та інсоляції, що сформувало контрастні абіотичні фони для

розвитку альтернаріозу картоплі та дозволило оцінити реакцію селекційного матеріалу в різних умовах вирощування. Повний масив декадних агрометеорологічних показників, використаних у подальшому аналізі, наведено в табл. 1.

2023 рік характеризувався відносно помірним температурним режимом упродовж критичних фаз розвитку культури (середньодекадна температура повітря $20,8\text{--}23,8^\circ\text{C}$ у липні–серпні) за достатнього, але нестабільного зволоження. У період першого та другого фітопатологічних обліків кількість опадів становила $18,5\text{--}48,2$ мм, а вологість ґрунту (GWETTOP) перебувала в межах $0,36\text{--}0,45$, що відповідало умовам помірного водного стресу. У серпні спостерігали різке зниження кількості опадів і вологості ґрунту до $0,22\text{--}0,31$, яке в поєднанні з достатнім рівнем інсоляції ($20,8\text{--}21,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$) сприяло посиленню прояву симптомів альтернаріозу на фоні фізіологічного ослаблення рослин.

2024 рік відзначався найбільш екстремальними абіотичними умовами серед років досліджень, що дозволило розглянути його як модель високого абіотичного навантаження на рослини картоплі. У період основних фітопатологічних обліків (II–III декади липня) зафіксовано поєднання високих температур повітря ($25,4\text{--}28,5^\circ\text{C}$) і ґрунту ($27,4\text{--}31,2^\circ\text{C}$), мінімальної кількості опадів ($0\text{--}12,4$ мм) та критично низької вологості ґрунту (GWETTOP $0,09\text{--}0,14$). Одночасно рівень сумарної сонячної радіації сягав $29,1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$, а швидкість вітру перевищувала $3,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, що створювало умови для інтенсивного висушування листового апарату і механічного перенесення конідій. Сукупність зазначених чинників зумовила різке зниження адаптивної здатності рослин картоплі та найвищу інтенсивність розвитку альтернаріозу в усіх групах стиглості.

2025 рік характеризувався найбільш збалансованими агрометеорологічними умовами серед років досліджень. Упродовж червня–липня кількість опадів була вищою порівняно з попередніми роками ($28,4\text{--}45,1$ мм у червні та до $40,2$ мм у липні), а вологість ґрунту в період обліків перебувала в межах $0,35\text{--}0,44$, що відповідало недостатньому, проте близькому до оптимального рівня зволоження. Температурний режим був помірним ($21,5\text{--}22,8^\circ\text{C}$ у липні), а рівень інсоляції – середнім ($19,5\text{--}25,8 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$). За таких умов розвиток аль-

Таблиця 1

Агрометеорологічні умови вегетаційних періодів картоплі у 2023–2025 рр.
(за даними NASA POWER Project, реаналіз MERRA-2)

Місяць	Декади	Т-повітря, °С	Т-грунту, °С	Опади, мм	Вологість повітря, %	Вологість ґрунту, GWETTOR	Сонячна радіація, MJ·m ⁻² ·day ⁻¹	Швидкість вітру (WS2M), м/с
2023								
Червень	I	17,1	18,2	14,2	64	0,52	24,5	2,4
	II	19,5	20,1	28,4	68	0,48	21,8	2,6
	III	20,2	21,8	12,1	65	0,41	25,2	2,3
Липень	I	20,8	22,4	35,0	64	0,38	22,4	2,1
	II*	21,5	23,6	48,2	69	0,45	19,8	2,5
	III**	22,4	24,1	18,5	61	0,36	23,1	2,2
Серпень	I***	22,1	23,8	5,4	59	0,31	21,5	2,0
	II****	23,8	25,4	2,1	55	0,25	20,8	2,4
	III	21,5	23,2	15,6	63	0,22	18,5	2,1
Вересень	I	18,2	19,5	4,8	66	0,19	16,2	2,3
2024								
Червень	I	19,8	21,4	18,5	62	0,44	25,8	2,8
	II	20,5	22,6	10,2	60	0,35	26,1	2,5
	III	22,4	24,8	4,1	57	0,28	27,5	2,7
Липень	I	24,1	26,5	2,5	52	0,18	28,2	2,6
	II*	28,5	31,2	0,0	47	0,09	29,1	3,2
	III**	25,4	27,4	12,4	54	0,14	24,5	2,8
Серпень	I***	23,8	25,1	8,2	53	0,16	23,8	2,5
	II****	27,2	29,8	0,8	48	0,11	25,2	3,4
	III	24,5	26,3	5,6	56	0,13	21,4	2,7
Вересень	I	20,1	22,1	3,2	58	0,15	18,8	2,6
2025								
Червень	I	16,8	17,9	32,4	66	0,46	20,5	2,6
	II	18,2	19,4	45,1	72	0,52	18,2	3,1
	III	19,5	20,8	18,2	66	0,42	23,4	2,4
Липень	I*	22,8	24,1	12,5	58	0,35	25,8	2,2
	II**	22,1	23,4	28,4	63	0,38	21,4	2,5
	III	21,5	22,9	40,2	70	0,44	19,5	2,4
Серпень	I***	22,4	23,6	15,1	61	0,31	22,1	2,1
	II****	21,0	22,1	12,8	65	0,29	20,8	2,3
	III	20,2	21,4	8,4	66	0,27	18,2	2,5
Вересень	I	18,4	19,1	10,2	63	0,21	17,5	2,4

Примітка: дані наведено у вигляді середньодекадних значень для періоду вегетації картоплі. Зірочками позначено декади проведення фітопатологічних обліків: I облік – 60–65-та доба від садіння; II облік – 70–75-та доба; III облік – 90–95-та доба; IV облік – 100–105-та доба від садіння залежно від року досліджень.

тернаріозу відбувався поступово, без різких стрибків інтенсивності, що створило сприятливий фон для виявлення внутрішньогрупових та міжгрупових відмінностей селекційного матеріалу за рівнем стійкості.

Загалом, аналіз агрометеорологічних показників засвідчив, що саме поєднання підвищених температур, дефіциту ґрунтової вологи,

високого рівня інсоляції та помірно підвищеної швидкості вітру формує найбільш сприятливі умови для інтенсифікації розвитку альтернаріозу картоплі в умовах Центрального Полісся, визначаючи ступінь реалізації потенційної стійкості селекційного матеріалу.

Аналіз динаміки стійкості селекційного матеріалу до альтернаріозу. Дані таблиці 2

Таблиця 2

Динаміка балової оцінки стійкості селекційного матеріалу картоплі різних груп стиглості до альтернаріозу впродовж вегетації (2023–2025 рр.)

Група стиглості	Роки	Кількість, шт.	I облік	II облік	III облік	IV облік	Δ загальне %
Рання	2023	16	7,9	6,5	4,9	2,9	63,3
	2024	26	6,5	4,9	3,6	2,1	67,7
	2025	24	8,1	6,5	3,5	2,4	70,4
	М	-	7,5	6,0	4,0	2,5	67,1
	CV, %	-	11,9	16,9	18,0	16,2	5,4
Середньорання	2023	22	7,9	7,0	5,9	4,4	44,3
	2024	24	6,6	5,4	4,3	3,2	51,5
	2025	25	8,0	6,7	4,3	3,3	58,8
	М	-	7,5	6,4	4,8	3,6	51,5
	CV, %	-	10,0	13,2	19,0	18,2	14,1
Середньостигла	2023	31	8,5	7,6	6,4	5,4	36,5
	2024	31	7,2	6,2	5,0	4,0	44,4
	2025	24	8,1	7,0	5,0	4,0	50,6
	М	-	7,9	6,9	5,5	4,5	43,8
	CV, %	-	9,1	11,0	14,8	18,1	16,0

Примітка: М – середнє арифметичне за три роки; CV – коефіцієнт варіації, що характеризує міжрічну мінливість показників; Δ загальне – відносне зниження середньої балової оцінки від I до IV обліку, %.

свідчать про послідовне зниження балової оцінки стійкості до альтернаріозу від I до IV обліку в усіх групах стиглості. Загальне зниження стійкості впродовж вегетації становило в середньому 67,1 % у ранньої, 51,5 % у середньоранньої та 43,8 % у середньостиглої груп, що відображає різну швидкість втрати резистентності залежно від групи стиглості. Міжрічна мінливість показників, оцінена за коефіцієнтом варіації (CV), зростала від I обліку (9,1–11,9 %) до IV обліку (16,2–18,1 %), що свідчить про посилення ролі зовнішніх чинників у формуванні рівня ураження на пізніх етапах вегетації.

Вплив окремих агрометеорологічних факторів. У 2024 році під час I обліку зафіксовано найвищі температури повітря (28,5 °C) та ґрунту (31,2 °C), що супроводжувалося зниженням балової оцінки стійкості до 6,5–7,2 бала порівняно з 7,9–8,5 бала у 2023 та 2025 роках (температура 21,5–22,8 °C). До IV обліку 2024 року температура повітря досягла 27,2 °C, ґрунту – 29,8 °C, що відповідало мінімальним показникам стійкості: 2,1 бала у ранньої, 3,2 – у середньоранньої та 4,0 – у середньостиглої груп. У 2025 році температурний режим залишався помірним, забезпечуючи більш плавну динаміку зниження балів, особливо на ранніх етапах обліків.

Критично низька вологість ґрунту в 2024 році (GWETTOP 0,09) під час I обліку

за повної відсутності опадів відповідала найнижчим стартовим балам (6,5–7,2). Протягом обліків дефіцит вологи залишався, що призводило до мінімальних значень стійкості. У 2023 році, незважаючи на високі опади на початку вегетації, поступове висушування ґрунту до IV обліку знижувало стійкість у всіх групах. У 2025 році помірна вологість та рівномірні опади забезпечили високі стартові бали, але до III–IV обліків показники знижувалися через накопичення інфекційного навантаження.

Екстремальна сонячна радіація (29,1 MJ·m⁻²·day⁻¹) зафіксована лише під час I обліку 2024 року, що збіглося з найнижчими стартовими балами стійкості. Впродовж II–IV обліків 2024 року радіація коливалася в межах 23,8–25,2 MJ·m⁻²·day⁻¹, у 2025 році – MJ·m⁻²·day⁻¹ (за помірних опадів 12,5 мм та вологості ґрунту 0,35), що не спричинило різкого зниження стійкості. У 2023 році радіація була найнижчою (19,8 MJ·m⁻²·day⁻¹) за високих опадів (48,2 мм), забезпечуючи високі початкові бали (7,9–8,5).

Швидкість вітру понад 3,0 м·с⁻¹, що сприяє перенесенню конідій *Alternaria* spp., спостерігалася під час I (3,2 м·с⁻¹) та IV (3,4 м·с⁻¹) обліків 2024 року, що супроводжувалося низькими або різко зниженими показниками стійкості. У 2023 та 2025 роках швидкість вітру не перевищу-

вала $2,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, що обмежувало поширення інфекції, хоча динаміка зниження стійкості на пізніх етапах залишалася подібною.

Найбільш критичним був 2024 рік: поєднання екстремальних температур ($28,5\text{--}31,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$), критично низької вологості ґрунту ($0,09\text{--}0,16$), високої сонячної радіації ($29,1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$) та підвищеної швидкості вітру ($3,2\text{--}3,4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) зумовило найнижчі показники стійкості для всіх груп стиглості. У 2023 році сприятливі початкові умови (високі опади, помірна температура) забезпечували високі стартові бали, але прогресуюче висушування ґрунту призводило до деградації стійкості. У 2025 році помірні температурно-вологі умови забезпечували вищі початкові бали, проте до кінця вегетації вони знижувалися до рівня, близького до 2024 року, у зв'язку з переходом рослин до пізніших фенологічних фаз.

Статистична верифікація результатів. Статистичний аналіз засвідчив наявність достовірних відмінностей між обліками впродовж вегетації для всіх груп стиглості, що підтверджує закономірний характер зниження балової оцінки стійкості до альтернативі. Отримані результати свідчать, що деградація стійкості відбувалася не випадково, а була зумовлена сукупною дією агрометеорологічних чинників упродовж вегетаційного періоду. Міжрічна варіабельність показників, оцінена за коефіцієнтом варіації, зростала від ранніх до пізніх обліків (від $9,1\text{--}11,9 \%$ на початкових етапах до $16,2\text{--}18,1 \%$ наприкінці вегетації), що вказує на посилення модифікуючого впливу погодних умов у другій половині вегетації.

Узагальнені статистичні характеристики стійкості селекційного матеріалу картоплі за трирічний період досліджень, а також

результати оцінки динаміки ураження наведено в таблиці 3.

Встановлена закономірна динаміка зниження балової оцінки стійкості впродовж вегетації, підтверджена статистичними критеріями, свідчить про системний характер процесу розвитку альтернативі, який не може бути пояснений виключно фенологічною фазою рослин. Водночас суттєва міжрічна мінливість показників, особливо на пізніх етапах вегетації, вказує на визначальну роль накопичувальної дії агрометеорологічних умов, що формуються від моменту появи сходів і послідовно змінюють фізіологічний стан рослин та інфекційний потенціал патогену. З огляду на біологію *Alternaria* spp., інтенсивність ураження є результатом не короткочасного впливу окремих метеорологічних чинників у момент обліку, а інтегрованої дії температурного режиму, вологозабезпечення, інсоляції та повітряної циркуляції, які чергуються та накопичуються впродовж міжоблікових періодів.

Саме тому для коректної інтерпретації виявлених відмінностей між роками та групами стиглості доцільним є використання кумулятивних агрометеорологічних показників, а також узагальнених індексів, що відображають сумарну сприятливість умов для розвитку альтернативі. Такий підхід дозволяє перейти від опису феноменологічної динаміки стійкості до кількісної оцінки взаємозв'язків між середовищем вирощування та рівнем ураження, що є необхідною передумовою для подальшого кореляційного аналізу та обґрунтування ролі окремих і комплексних абіотичних чинників у формуванні стійкості селекційного матеріалу картоплі.

Таблиця 3
Узагальнені статистичні показники динаміки стійкості селекційного матеріалу картоплі до альтернативі за 2023–2025 рр.

Показники	Рання	Середньорання	Середньостигла	Критерій χ^2 ^а
Середня стійкість за вегетацію, бал	$5,5\pm 1,49$	$5,59\pm 1,24$	$6,20\pm 1,20$	–
CV, %	$11,9\text{--}18,0$	$10,0\text{--}19,0$	$9,1\text{--}18,1$	–
Загальне зниження стійкості (I→IV облік), %	$67,1\pm 3,6$	$51,5\pm 7,3$	$43,8\pm 7,0$	–
Критичний період деградації (max Δ), %	III→IV: $37,9\pm 5,9$	III→IV: $24,8\pm 1,3$	III→IV: $18,5\pm 2,5$	–
Статистична значущість динаміки ^а	$\chi^2=9,00^*$	$\chi^2=9,00^*$	$\chi^2=9,00^*$	df=3
Міжгрупові відмінності (IV облік) ^б	$2,5\pm 0,4^a$	$3,6\pm 0,7^b$	$4,5\pm 0,8^c$	$p<0,05$

Примітка: ^аВідмінності між обліками в межах кожної групи стиглості оцінено за непараметричним критерієм Фрідмана ($p<0,05$; $\chi^2_{0,05}=7,815$; $df=3$), ^б Міжгрупові відмінності за IV обліком визначено за критерієм Краскела–Воллеса; значення, позначені різними літерами (^а, ^б, ^с), статистично відрізняються при $p<0,05$. χ^2 – емпіричне значення критерію Фрідмана.

Кумулятивні агрометеорологічні показники в період вегетації картоплі (2023–2025 рр.). Для поглибленого аналізу причин міжрічної варіабельності стійкості селекційного матеріалу було проаналізовано кумулятивні агрометеорологічні показники від початку вегетації до кожного фітопатологічного обліку та розраховано індекс сприятливості розвитку альтернаріозу (ISA), що враховує основні погодні чинники, критичні для розвитку збудника (табл. 4).

В 2023 році впродовж усього вегетаційного періоду формувалися відносно помірні температурні умови за достатнього вологозабезпечення. Сума опадів зросла від 137,9 мм на момент першого обліку до 163,9 мм до IV обліку, при поступовому зниженні середньої вологості ґрунту (з 0,45 до 0,40). Одночасно відмічали стабільне наростання сумарної сонячної радіації (113,7–179,1), що в поєднанні з помірними температурами повітря і ґрунту формувало високі значення ISA (123,56–135,55), характерні для років з підвищеним інфекційним тиском альтернаріозу.

Агрометеорологічні умови 2024 року різко відрізнялися екстремально низьким рівнем вологозабезпечення. Кумулятивна сума опадів до IV обліку не перевищувала 56,7 мм, тоді як мінімальна вологість ґрунту впродовж усього періоду стабільно утримувалася на рівні 0,09. За поєднання підвищених температур повітря і ґрунту з високими

значеннями сумарної сонячної радіації (до 210,2) встановлено найнижчі за роки досліджень значення ISA (18,92–26,19), що вказує на несприятливість метеорологічного фону для масового розвитку збудника, але водночасна потенційне прискорення фізіологічного старіння рослин.

В 2025 році агрометеорологічні умови характеризувалися поєднанням достатнього вологозабезпечення з помірними температурними режимами. Сума опадів послідовно зростала від 148,4 мм за першого обліку до 204,7 мм за IV, при відносно стабільних значеннях середньої та мінімальної вологості ґрунту. За таких умов спостерігали поступове накопичення сумарної сонячної радіації (107,4–171,7) та формування найвищих значень ISA (130,00–162,22), що свідчить про тривале збереження сприятливого фону для розвитку альтернаріозу впродовж усього періоду вегетації.

Таким чином, кумулятивні агрометеорологічні показники чітко відображають контрастність років дослідження за рівнем потенційної сприятливості до розвитку альтернаріозу та створюють обґрунтовану основу для подальшої кількісної оцінки взаємозв'язків між погодними чинниками й динамікою стійкості генотипів різних груп стиглості.

Кореляційні зв'язки між кумулятивними агрометеорологічними умовами та рівнем стійкості селекційного матеріалу картоплі

Таблиця 4

Кумулятивні агрометеорологічні показники від початку вегетації та індекс сприятливості розвитку альтернаріозу картоплі за роками досліджень (2023–2025 рр.)

Рік	Облік	Σ Опали, мм	М Т повітря, °С	М Т ґрунту, °С	М Вологість повітря, %	М Вологість ґрунту	Min Вологість ґрунту	Σ Сонячна радіація	М Вітер, м/с	Max Вітер, м/с	ISA
2023	I	137,9	19,8	21,2	66,0	0,45	0,38	113,7	2,38	2,6	123,56
2023	II	156,4	20,3	21,7	65,2	0,43	0,36	136,8	2,35	2,6	135,55
2023	III	161,8	20,5	22,0	64,3	0,42	0,31	158,3	2,30	2,6	134,53
2023	IV	163,9	20,9	22,4	63,1	0,40	0,25	179,1	2,31	2,6	129,48
2024	I	35,3	23,1	25,3	55,6	0,27	0,09	136,7	2,76	3,2	18,92
2024	II	47,7	23,4	25,7	55,3	0,25	0,09	161,2	2,77	3,2	23,52
2024	III	55,9	23,5	25,6	55,0	0,23	0,09	185,0	2,73	3,2	26,19
2024	IV	56,7	24,0	26,1	54,1	0,22	0,09	210,2	2,81	3,4	24,81
2025	I	148,4	19,8	21,0	66,4	0,44	0,35	107,4	2,54	3,1	130,00
2025	II	176,8	20,2	21,4	65,8	0,43	0,35	128,8	2,53	3,1	151,46
2025	III	191,9	20,5	21,7	65,1	0,41	0,31	150,9	2,47	3,1	157,91
2025	IV	204,7	20,5	21,8	65,1	0,40	0,29	171,7	2,45	3,1	162,22

Примітка: кумулятивні показники розраховано від початку вегетації (період масових сходів, початок червня) до відповідного фітопатологічного обліку. Значення усереднених показників (М) наведено як середні за період накопичення; Σ — сума за період.

до альтернаріозу. Для кількісної оцінки взаємозв'язків між динамікою стійкості селекційного матеріалу та погодними умовами впродовж вегетації проведено кореляційний аналіз із використанням коефіцієнта Спірмена, що є методично обґрунтованим для бальної шкали оцінки та невеликої вибірки спостережень.

Встановлено, що бальна оцінка стійкості до альтернаріозу статистично значуще пов'язана з низкою кумулятивних агрометеорологічних показників від початку вегетації (табл. 5). Для всіх груп стиглості зафіксовано стійкий негативний кореляційний зв'язок між середньою температурою повітря та ґрунту і рівнем стійкості ($r = -0,65 \dots -0,80$; $p < 0,05$), що свідчить про закономірне зниження балів стійкості за умов тривалого теплового навантаження.

Найвищу силу зв'язку виявлено для сумарної сонячної радіації, яка в усіх групах стиглості демонструвала дуже тісний негативний кореляційний зв'язок із балом стійкості ($r = -0,895 \dots -0,909$; $p < 0,001$). Це підтверджує визначальну роль інтенсивного радіаційного навантаження як фактора, що опосередковано прискорює фізіологічне старіння рослин і підвищує їх сприйнятливості до ураження *Alternaria spp.*

На відміну від температурних і радіаційних чинників, показники середньої вологості повітря та ґрунту (GWETTOP) характеризувалися позитивною статистично значущою кореляцією з рівнем стійкості ($r = 0,65 \dots 0,80$; $p < 0,05$), що вказує на збереження вищих балів стійкості за умов достатнього зволоження впродовж вегетації. Мінімальна вологість ґрунту мала слабший і менш стабільний зв'язок, досягаючи рівня статистичної значущості лише в середньоранній групі.

Кумулятивна сума опадів від початку вегетації не виявила статистично значущого зв'язку з балами стійкості, що свідчить про обмежену інформативність цього показника без урахування фактичної доступності вологи в ґрунті.

Аналогічно, середня швидкість вітру не демонструвала значущого впливу, тоді як максимальні значення швидкості вітру в окремі періоди виявляли помірний негативний зв'язок зі стійкістю, переважно у середньоранній та середньостиглій групах.

Індекс сприятливості розвитку альтернаріозу (ISA) не виявив статистично значущої кореляції з балами стійкості в жодній із груп стиглості, що вказує на його обмежену чутливість для диференціації генотипів за рівнем стійкості та підтверджує доцільність використання окремих кумулятивних погодних показників для селекційного аналізу.

Таким чином, результати трирічних досліджень засвідчили, що формування рівня стійкості селекційного матеріалу картоплі до альтернаріозу є наслідком комплексної та кумулятивної дії агрометеорологічних чинників упродовж вегетації, а не реакцією на окремі погодні події в момент фітопатологічного обліку. Визначальну роль у зниженні бальної оцінки стійкості відігравали тривале теплове та радіаційне навантаження, тоді як показники вологості ґрунту виконували компенсаторну функцію, пом'якшуючи інтенсивність ураження. Виявлені закономірності були узгодженими для всіх груп стиглості, проте різнилися за силою прояву, що має важливе значення для селекційної інтерпретації та подальшого добору генотипів з підвищеною адаптивністю.

Таблиця 5

Кореляційні зв'язки між кумулятивними агрометеорологічними показниками від початку вегетації та бальною оцінкою стійкості селекційного матеріалу картоплі до альтернаріозу (2023–2025 рр.)

Показник	Рання	Середньорання	Середньостигла
Σ Опади від початку вегетації, мм	-0,273	-0,126	-0,196
М Температура повітря, °C	-0,699*	-0,804*	-0,769*
М Температура ґрунту, °C	-0,650*	-0,734*	-0,685*
М Вологість повітря, %	0,650*	0,741*	0,692*
М Вологість ґрунту (GWETTOP)	0,699*	0,804*	0,769*
Min вологість ґрунту	0,448	0,587*	0,545
Σ Сонячна радіація, MJ·m ⁻² ·day ⁻¹	-0,909**	-0,909**	-0,895**
М Швидкість вітру, м/с	-0,021	-0,266	-0,273
Мах швидкість вітру, м/с	-0,476	-0,699*	-0,706*
Індекс сприятливості альтернаріозу (ISA)	-0,112	0,007	-0,070

Примітка: критичні значення ρ (Спірмен) для $n=12$, $df=10$: $p < 0,05$: $|\rho| \geq 0,576$ $p < 0,001$: $|\rho| \geq 0,823$

Обговорення

Отримані результати свідчать про кумулятивний характер впливу агрометеорологічних чинників на розвиток альтернаріозу картоплі, що доповнює традиційні підходи, засновані на аналізі окремих або миттєвих погодних параметрів. Виявлений негативний зв'язок між кумулятивною температурою повітря та балами стійкості ($\rho = -0,70 \dots -0,80$; $p < 0,05$) узгоджується з літературними даними щодо температурного оптимуму (25–28 °C) для росту та конідіогенезу *Alternaria solani* (Patel et al., 2024). Водночас результати свідчать, що визначальним є не лише рівень температури, а й тривалість теплового навантаження: накопичення тепла впродовж 40–50 діб супроводжується прискоренням вікової сенесценції листкового апарату, зокрема через активацію етилен-залежних шляхів деградації клітинних структур (Ramadan et al., 2024), що підвищує сприйнятливості рослин до некротрофних патогенів. Подібні механізми описані й для інших культур: для альтернаріозу сої показано зниження вмісту фенольних сполук на 35–42 % за температури понад 30 °C, що асоціюється з ослабленням біохімічного захисту рослин (Fagodiya et al., 2022). Найтісніший кореляційний зв'язок у дослідженні виявлено між кумулятивною сонячною радіацією та балами стійкості ($\rho = -0,90$; $p < 0,001$). Хоча інсоляція традиційно розглядається як чинник, що може обмежувати життєздатність конідій на поверхні листка, отримані результати вказують, що на рівні рослинного організму за високої сонячної радіації ($>28 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) домінує ефект фотооксидативного стресу. Поєднання інтенсивного опромінення з дефіцитом ґрунтової вологи призводить до генерації активних форм кисню в хлоропластах, пероксидації мембранних ліпідів і формування фізіологічного субстрату, сприятливого для розвитку некротрофних грибів (Meno et al., 2022). Позитивний зв'язок показника ґрунтової вологи GWETTOP зі стійкістю до альтернаріозу ($\rho = 0,70 \text{--} 0,80$; $p < 0,05$) слід чітко диференціювати від впливу атмосферної вологості, яка безпосередньо стимулює спорутворення *Alternaria* (Ghalib et al., 2025). У даному випадку ґрунтова волога відіграє опосередковану роль, забезпечуючи підтримання тургору, стабільності фотосинтетичного апарату та уповільнення сенесцентних процесів. У 2024 році зафіксовано поєднання низького значення GWETTOP (0,09)

із відносною вологістю повітря 47–52 %, що зумовило максимальний рівень ураження рослин попри умови, менш сприятливі для активного спороношення. Подібний ефект, описаний як «парадокс посухи», відзначено для альтернаріозу кмину (Kumawat et al., 2025) і узгоджується з даними Pysarenko et al. (2025) щодо зниження гідротермічного коефіцієнта в умовах Полісся України. Виявлена різниця у швидкості деградації стійкості між групами стиглості (67,1 % у ранньостиглих проти 43,8 % у середньостиглих форм) свідчить про роль онтогенетичних особливостей розвитку рослин у формуванні толерантності до альтернаріозу. Це узгоджується з концепцією «staying-green», згідно з якою генотипи з подовженою тривалістю функціонування фотосинтетичного апарату демонструють підвищену адаптивність до некротрофних патогенів незалежно від наявності специфічних R-генів (Ghalib et al., 2025). За даними літератури, кореляція концентрації конідій *Alternaria* з кількістю опадів є слабкою ($r \approx 0,24$), тоді як із температурними показниками – помірною ($r \approx 0,51$) (Meno et al., 2022). Це обґрунтовує доцільність інтеграції в прогностичні моделі показників фізіологічного стресу рослин, зокрема кумулятивної інсоляції та дефіциту вологозабезпечення, що реалізовано у сучасних системах типу TOMCAST (Meno et al., 2024). Практичне значення отриманих результатів полягає в ідентифікації критичного періоду селекційної оцінки стійкості до альтернаріозу (90–105-та доба вегетації, CV 16–18 %) та підтвердженні інформативності екстремальних за погодними умовами років, зокрема 2024 року, як ефективного «природного сита» для добору форм, адаптованих до прогнозованого зростання частоти посушливих періодів у зоні Полісся України.

Висновки

1. Регіональні дані реаналізу клімату NASA POWER (MERRA-2) є інформативними для характеристики агрометеорологічних умов вегетації картоплі в умовах Полісся України та їх зіставлення з динамікою прояву альтернаріозу. Досліджувані роки істотно різнилися за температурним режимом, вологозабезпеченням і рівнем інсоляції, що сформувало контрастні фони для оцінки селекційного матеріалу.

2. Деградація бальної оцінки стійкості до альтернаріозу від I до IV фітопатологічного обліку має чітку залежність від групи стиглості. Найбільше зниження показників встановлено у ранньостиглих форм (67,1 %), тоді

як у середньоранніх і середньостиглих генотипів воно було менш вираженим (51,5 та 43,8 % відповідно). Це свідчить про різну швидкість втрати польової стійкості впродовж вегетації, що є важливим селекційним критерієм.

3. Усереднений за групами стиглості коефіцієнт варіації показників стійкості зростав від I до IV фітопатологічного обліку (CV 10,3–17,5 %), що свідчить про посилення ролі агрометеорологічних чинників упродовж періодів обліків (60–65 до 100–105 доби від садіння). Це обґрунтовує доцільність багаторазових обліків для коректної диференціації генотипів у селекційних розсадниках.

4. Кореляційний аналіз засвідчив провідну роль температурного та радіаційного навантаження у формуванні рівня ураження альтернаріозом. Найтісніший зворотний зв'язок встановлено між бальною оцінкою стійкості та сумарною сонячною радіацією ($\rho = -0,895 \dots -0,909$; $p < 0,001$) незалежно від групи стиглості. Середні температури повітря і ґрунту мали стабільний негативний зв'язок із показниками стійкості ($\rho = -0,650 \dots -0,804$; $p < 0,05$).

5. Показники вологості повітря та ґрунту (GWETTOP) характеризувалися достовірною позитивною кореляцією з бальною оцінкою стійкості ($\rho = 0,699 \dots 0,804$; $p < 0,05$), що вказує на їх компенсаторну роль за умов теплового та радіаційного стресу. Водночас сумарні опади та швидкість вітру мали слаб-

кий або нестабільний зв'язок і не можуть розглядатися як надійні селекційно-інформативні чинники.

6. Індекс сприятливості альтернаріозу (ISA) не виявив статистично значущих кореляцій з рівнем ураження у всіх групах стиглості, що свідчить про його обмежену придатність для оцінки прояву альтернаріозу в умовах підвищеного теплового та радіаційного навантаження.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження доцільно спрямувати на удосконалення селекційної оцінки стійкості картоплі до альтернаріозу з урахуванням динаміки агрометеорологічних чинників. Перспективним є використання швидкості деградації стійкості впродовж вегетації (від I до IV обліку) як додаткової селекційної ознаки, уточнення оптимальних строків фітопатологічних обліків для різних груп стиглості та розробка регіонально адаптованих індексів селекційної придатності, що враховують температурний, радіаційний режими та вологість ґрунту. Окремим напрямом є формування вихідного матеріалу для селекції на уповільнену втрату польової стійкості до альтернаріозу в умовах абіотичного стресу. Реалізація цих підходів сприятиме підвищенню ефективності добору генотипів зі стабільною польовою стійкістю та адаптованістю до сучасних кліматичних умов без відходу від класичних селекційних принципів.

Список використаної літератури

Гаврилюк А., Рожок О. Вплив строків посадки картоплі на розвиток альтернаріозу та врожайність бульб. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Фітосанітарна безпека»*. 2023. Вип. 68. С. 49–56. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.49-56>

Бондарчук А. А., Колтунов В. А., Олійник Т. М. та ін. Картоплярство: Методика дослідної справи. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2019. 625 с. [Електронний ресурс]. URL: https://www.ikar.org.ua/files/ugd/69bb4c_77462c9ea8804515b090c3254bffeada.pdf (дата звернення: 23.03.2026).

Писаренко Н. В., Захарчук Н. А., Гордієнко В. В. Стійкість генотипів картоплі проти фітопатогенних мікроміцетів (*Alternaria*, *Fusarium*) за абіотичного стресу Центрального Полісся. *Новітні агротехнології*. 2025. Т. 13, № 1. <https://doi.org/10.47414/na.13.1.2025.332062>

Плотницька Н. М., Гурманчук О. В., Невмержицька О. М., Харчишин Т. Г., Король А. М. Розвиток основних хвороб картоплі залежно від сортових особливостей. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2023. № 40. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-3.8>

Тактаєв Б. А., Подберезко І. М. Розвиток хвороб на сортах картоплі різних груп стиглості на природному інфекційному фоні в зоні Південного Полісся України. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Картоплярство»*. 2020. № 45. С. 3–14. [Електронний ресурс]. URL: <https://potato-journal.com.ua/index.php/journal/issue/view/7/45-2020-pdf> (дата звернення: 23.03.2026).

Трибель С. О., Пилипенко Л. А., Бондарчук А. А. та ін. Методологія оцінювання сортотразів картоплі на стійкість проти основних шкідників і збудників хвороб. Київ : Аграрна наука, 2013. 264 с. ISBN 978-966-540-346-3.

Федорчук С. В., Цуркан Р. П., Лісовий М. М. Фітофтороз і альтернаріоз картоплі в умовах Полісся України. *Науковий вісник НАТУ України*. 2024. Т. 34, № 6. С. 8–12. <https://doi.org/10.36930/40340601>

- Abuley I. K., Nielsen B. J. Evaluation of models to control potato early blight (*Alternaria solani*) in Denmark. *Journal of Crop Protection*. 2017. Vol. 102. P. 118–128. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.08.012>
- Abuley I. K., Nielsena B. J., Labouriau R. Resistance status of cultivated potatoes to early blight (*Alternaria solani*) in Denmark. *Plant Pathology*. 2018. Vol. 67, Iss. 2. P. 315–326. <https://doi.org/10.1111/ppa.12744>
- Alizadeh-Moghaddam G., Nasr-Esfahani M., Nasr-Esfahani A., Sedaghatfar E., Rahanandeh H., Yazdi M. J. Comparative genetic defence analysis using microsatellite markers and anatomical resistance of potato cultivars to early blight. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2024. Vol. 133. 102374. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2024.102374>
- Asadi P., Tian D. Estimating leaf wetness duration with machine learning and climate reanalysis data. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2021. Vol. 307. 108548. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108548>
- Chaudhary A. K., Yadav J., Gupta A. K., Gupta K. Integrated disease management of early blight (*Alternaria solani*) of potato. *Tropical Agrobiodiversity*. 2021. Vol. 2. P. 77–81. <https://doi.org/10.26480/trab.02.2021.77.81>
- Ding S., Meinholz K., Cleveland K., Jordan S. A., Gevens A. J. Diversity and virulence of *Alternaria* spp. causing potato early blight and brown spot in Wisconsin. *Phytopathology*. 2018. Vol. 109, Iss. 4. P. 436–445. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-18-0181-R>
- Fagodiya R. K., Trivedi A. & Fagodia B. L. Impact of weather parameters on *Alternaria* leaf spot of soybean incited by *Alternaria alternata*. *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. 6131. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10108-z>
- Ghalib A., Prasad M., Kumar A., Kajla A. Seasonal Occurrence and Severity of Early Blight of Potato Caused by *Alternaria solani* in Relation to Weather Conditions. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2025. Vol. 31, № 5. P. 434–443. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2025/v31i53041>
- Kumawat K., Rawal P., Naga B. L., Brijesh, Yadav S., Sharma P., Upadhyay P., Kansotia K. Effect of weather parameters on severity of *Alternaria* blight of cumin caused by *Alternaria burnsii* in rajasthan. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*. 2025. Vol. 9, № 11. P. 906–911. <https://doi.org/10.33545/26174693.2025.v9.i11SI.6339>
- Li Q., Feng Y., Li J., Hai Y., Si L., Tan C., Peng J., Hu Z., Li Z., Li C., Hao D., Tang W. Multi-omics approaches to understand pathogenicity during potato early blight disease caused by *Alternaria solani*. *Frontiers in Microbiology*. 2024. Vol. 15. 1357579. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1357579>
- Madden L. V., Hughes G. Sampling for plant disease incidence. *Phytopathology*. 1999. Vol. 89, Iss. 11. P. 1088–1103. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1999.89.11.1088>
- Madden L. V. Reflections on the past, present, and future of quantitative plant disease epidemiology. Annual Review of Phytopathology. 2025. Vol. 63. P. 1–22. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-031725-033728>
- Meno L., Abuley I., Seijo M. C., Escuredo O. Management Strategies for Early Blight in Potatoes: Assessment of the TOMCAST Model, Including the Aerobiological Risk Level and Critical Phenological Period. *Agriculture*. 2024. Vol. 14, № 8. 1414. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081414>
- Meno L., Escuredo O., Abuley I. K., Seijo M. C. Importance of Meteorological Parameters and Airborne Conidia to Predict Risk of *Alternaria* on a Potato Crop Ambient Using Machine Learning Algorithms. *Sensors*. 2022. Vol. 22, № 18. 7063. <https://doi.org/10.3390/s22187063>
- Meno L., Escuredo O., Rodriguez-Flores M. S., Seijo M. C. Modification of the TOMCAST Model with Aerobiological Data for Management of Potato Early Blight. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, № 12. 1872. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121872>
- Odilbekov F., Selga C., Ortiz R., Chawade A., Liljeroth E. QTL Mapping for Resistance to Early Blight in a Tetraploid Potato Population. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, № 5. 728. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050728>
- Park J., Kim S., Jo M., An S., Kim Y., Yoon J., Jeong M.-H., Kim E. Y., Choi J., Kim Y., Park S.-Y. Isolation and Identification of *Alternaria alternata* from Potato Plants Affected by Leaf Spot Disease in Korea: Selection of Effective Fungicides. *Journal of Fungi*. 2024. Vol. 10, № 1. 53. <https://doi.org/10.3390/jof10010053>
- Patel J. V., Gohel N. M., Prajapati D., Parmar D. M. Effect of Weather Factors on Severity of Early Blight Incited by *Alternaria solani* in Potato. *International Journal of Plant & Soil Science*. 2024. Vol. 36, № 3. P. 69–75. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i34399>
- Pysarenko N., Furdyha M., Zakharchuk N., Hordiienko V. Resistance status of potato varieties to early blight under changing climate conditions in Polissia, Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. Vol. 28, № 2. P. 87–95. <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.02.14>
- Ramadan A. B., Hamad A. S., Khalifa E. Z. et al. Survey and Varietal Reaction to Early Blight Disease on Potato in Egypt. *Egyptian Journal of Crop Protection*. 2024. Vol. 19, № 2. <https://doi.org/10.21608/ejcp.2024.394162>

Robertson A. E. Methods for collecting plant disease data. Plant Health Exchange. 2008. <https://doi.org/10.1094/GROW-COR-12-08-008>

Schmey T., Tominello-Ramirez C. S., Brune C., Stam R. *Alternaria* diseases on potato and tomato. *Molecular Plant Pathology*. 2024. Vol. 25, № 3. e13435. <https://doi.org/10.1111/mpp.13435>

Xue W., Haynes K. G., Clarke C. R., Qu X. Genetic Dissection of Early Blight Resistance in Tetraploid Potato. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. 851538. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.851538>

Xue W. Y., Haynes K. G., Qu X. S. Characterization of early blight resistance in potato cultivars. *Plant Disease*. 2019. Vol. 103, № 4. P. 629–637. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-18-0794-RE>

References

Havryliuk, A., & Rozhok, O. (2023). Vplyv strokiv posadky kartopli na rozvytok alternariozu ta vrozhaist bulb [Influence of potato planting dates on the development of early blight and tuber yield]. *Mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk «Fitosanitarna bezpeka» ["Phytosanitary Safety"]*, 68, 49–56. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.49-56> [in Ukrainian]

Bondarchuk, A. A., Koltunov, V. A., Oliynik, T. M. et al. (2019). *Kartoplyarstvo: Metodika doslidnoyi spravi* [Potato growing: Methods of research]. Vinnitsya: TVORI. [Electronic resource]. URL: https://www.ikar.org.ua/_files/ugd/69bb4c_77462c9ea8804515b090c3254bffeada.pdf (access date 23.03.2026) [in Ukrainian].

Pysarenko, N. V., Zakharchuk, N. A., & Hordienko, V. V. (2025). Stiikist henotypiv kartopli proty fitopatohennykh mikromitsetiv (*Alternaria*, *Fusarium*) za abiotychnoho stresu Tsentralnoho Polissia [Resistance of potato genotypes against phytopathogenic micromycetes (*Alternaria*, *Fusarium*) under abiotic stress of Central Polissia]. *Novitni ahrotekhnolohii [Latest agricultural technologies]*, 13(1). <https://doi.org/10.47414/na.13.1.2025.332062> [in Ukrainian]

Plotnytska, N. M., Hurmanchuk, O. V., Nevmerzhytska, O. M., Kharchyshyn, T. H., & Korol, A. M. (2023). Rozvytok osnovnykh khvorob kartopli zalezno vid sortovykh osoblyvostei [Development of main potato diseases depending on varietal characteristics]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika [Podolsk Bulletin: agriculture, technology, economics]*, 40. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-3.8> [in Ukrainian]

Taktaiev, B. A., & Podberezko, I. M. (2020). Rozvytok khvorob na sortakh kartopli riznykh hrup styhlosti na pryrodnomu infektsiinomu foni v zoni Pivdennoho Polissia Ukrainy [Development of diseases on potato varieties of different maturity groups on natural infectious background in the zone of Southern Polissia of Ukraine]. *Mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk «Kartoplyarstvo» ["Potato growing"]*, 45, 3–14. [Electronic resource]. URL: <https://potato-journal.com.ua/index.php/journal/issue/view/7/45-2020-pdf> (access date 23.03.2026) [in Ukrainian]

Trybel, S. O., Pylypenko, L. A., Bondarchuk, A. A., et al. (2013). Metodolohiia otsiniuvannia sortozrazkiv kartopli na stiikist proty osnovnykh shkidnykiv i zbudnykiv khvorob [Methodology for evaluating potato varieties for resistance to major pests and pathogens]. Kyiv: Ahrarna nauka. [in Ukrainian].

Fedorchuk, S. V., Tsurkan, R. P., & Lisovy, M. M. (2024). Fitoforoz i alternarioz kartopli v umovakh Polissia Ukrainy [Late blight and early blight of potatoes in the conditions of Polissia Ukraine]. *Scientific Bulletin of UNFU*, 34(6), 8–12. <https://doi.org/10.36930/40340601> [in Ukrainian]

Abuley, I. K., & Nielsen, B. J. (2017). Evaluation of models to control potato early blight (*Alternaria solani*) in Denmark. *Journal of Crop Protection*, 102, 118–128. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.08.012> [in English]

Abuleya, I. K., Nielsena, B. J., & Labouriau, R. (2018). Resistance status of cultivated potatoes to early blight (*Alternaria solani*) in Denmark. *Plant Pathology*, 67(2), 315–326. <https://doi.org/10.1111/ppa.12744> [in English]

Alizadeh-Moghaddam, G., Nasr-Esfahani, M., Nasr-Esfahani, A., Sedaghatfar, E., Rahanandeh, H., & Yazdi, M. J. (2024). Comparative genetic defence analysis using microsatellite markers and anatomical resistance of potato cultivars to early blight. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 133, 102374. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2024.102374> [in English]

Asadi, P., & Tian, D. (2021). Estimating leaf wetness duration with machine learning and climate reanalysis data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307, 108548. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108548> [in English]

Chaudhary, A. K., Yadav, J., Gupta, A. K., & Gupta, K. (2021). Integrated disease management of early blight (*Alternaria solani*) of potato. *Tropical Agrobiodiversity*, 2, 77–81. <https://doi.org/10.26480/trab.02.2021.77.81> [in English]

Ding, S., Meinholz, K., Cleveland, K., Jordan, S. A., & Gevens, A. J. (2018). Diversity and virulence of *Alternaria* spp. causing potato early blight and brown spot in Wisconsin. *Phytopathology*, 109(4), 436–445. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-18-0181-R> [in English]

Fagodiya, R. K., Trivedi, A., & Fagodia, B. L. (2022). Impact of weather parameters on *Alternaria* leaf spot of soybean incited by *Alternaria alternata*. *Scientific Reports*, 12, 6131. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10131-3> [in English]

- Ghalib, A., Prasad, M., Kumar, A., & Kajla, A. (2025). Seasonal occurrence and severity of early blight of potato caused by *Alternaria solani* in relation to weather conditions. *Journal of Scientific Research and Reports*, 31(5), 434–443. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2025/v31i53041> [in English]
- Kumawat, K., Rawal, P., Naga, B. L., Brijesh, Yadav, S., Sharma, P., Upadhyay, P., & Kansotia, K. (2025). Effect of weather parameters on severity of *Alternaria* blight of cumin caused by *Alternaria burnsii* in rajasthan. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 9(11S), 906–911. <https://doi.org/10.33545/26174693.2025.v9.i11Sl.6339> [in English]
- Li, Q., Feng, Y., Li, J., Hai, Y., Si, L., Tan, C., Peng, J., Hu, Z., Li, Z., Li, C., Hao, D., & Tang, W. (2024). Multi-omics approaches to understand pathogenicity during potato early blight disease caused by *Alternaria solani*. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1357579. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1357579> [in English]
- Madden, L. V., & Hughes, G. (1999). Sampling for plant disease incidence. *Phytopathology*, 89(11), 1088–1103. <https://doi.org/10.1094/PHTO.1999.89.11.1088> [in English]
- Madden, L. V. (2025). Reflections on the past, present, and future of quantitative plant disease epidemiology. *Annual Review of Phytopathology*, 63, 1–22. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-031725-033728> [in English]
- Meno, L., Abuley, I., Seijo, M. C., & Escuredo, O. (2024). Management strategies for early blight in potatoes: Assessment of the TOMCAST model, including the aerobiological risk level and critical phenological period. *Agriculture*, 14(8), 1414. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081414> [in English]
- Meno, L., Escuredo, O., Abuley, I. K., & Seijo, M. C. (2022). Importance of meteorological parameters and airborne conidia to predict risk of *Alternaria* on a potato crop ambient using machine learning algorithms. *Sensors*, 22(18), 7063. <https://doi.org/10.3390/s22187063> [in English]
- Meno, L., Escuredo, O., Rodríguez-Flores, M. S., & Seijo, M. C. (2020). Modification of the TOMCAST model with aerobiological data for management of potato early blight. *Agronomy*, 10(12), 1872. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121872> [in English]
- Odilbekov, F., Selga, C., Ortiz, R., Chawade, A., & Liljeroth, E. (2020). QTL mapping for resistance to early blight in a tetraploid potato population. *Agronomy*, 10(5), 728. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050728> [in English]
- Park, J., Kim, S., Jo, M., An, S., Kim, Y., Yoon, J., Jeong, M.-H., Kim, E. Y., Choi, J., Kim, Y., & Park, S.-Y. (2024). Isolation and identification of *Alternaria alternata* from potato plants affected by leaf spot disease in Korea: Selection of effective fungicides. *Journal of Fungi*, 10(1), 53. <https://doi.org/10.3390/jof10010053> [in English]
- Patel, J. V., Gohel, N. M., Prajapati, D., & Parmar, D. M. (2024). Effect of weather factors on severity of early blight incited by *Alternaria solani* in potato. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(3), 69–75. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i34399> [in English]
- Pysarenko, N., Furdyha, M., Zakharchuk, N., & Hordiienko, V. (2025). Resistance status of potato varieties to early blight under changing climate conditions in Polissia, Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 28(2), 87–95. <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.02.14> [in English]
- Ramadan, A. B., Hamad, A. S., Khalifa, E. Z., et al. (2024). Survey and varietal reaction to early blight disease on potato in Egypt. *Egyptian Journal of Crop Protection*, 19(2). <https://doi.org/10.21608/ejcp.2024.394162> [in English]
- Robertson, A. E. (2008). Methods for collecting plant disease data. Plant Health Exchange. <https://doi.org/10.1094/GROW-COR-12-08-008> [in English]
- Schmey, T., Tominello-Ramirez, C. S., Brune, C., & Stam, R. (2024). *Alternaria* diseases on potato and tomato. *Molecular Plant Pathology*, 25(3), e13435. <https://doi.org/10.1111/mpp.13435> [in English]
- Xue, W., Haynes, K. G., Clarke, C. R., & Qu, X. (2022). Genetic dissection of early blight resistance in tetraploid potato. *Frontiers in Plant Science*, 13, 851538. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.851538> [in English]
- Xue, W. Y., Haynes, K. G., & Qu, X. S. (2019). Characterization of early blight resistance in potato cultivars. *Plant Disease*, 103(4), 629–637. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-18-0794-RE> [in English]

Дата першого надходження статті до видання: 17.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 16
Український журнал природничих наук
№ 16

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 551.583: 633.31/.37

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.25>

АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ПРОДУКТИВНОСТІ ГОРОХУ НА ЧЕРКАЩИНІ В УМОВАХ ПОТЕПЛІННЯ КЛІМАТУ

А. М. Польовий¹, О. В. Вольвач², О. А. Барсукова³

Глобальне потепління призводить до зниження виробництва аграрної продукції, тому дослідження їхнього впливу на агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур є важливим кроком до адаптації сільського господарства у нових умовах діяльності. Метою нашого дослідження є визначення впливу сучасних кліматичних змін на умови вирощування гороху. Представлені результати аналізу динаміки середньої обласної урожайності. Простежена відмінність щорічних агрометеорологічних показників в розрізі різних за урожайністю років. Встановлена кількість опадів в критичний для розвитку культури період, що впливає на рівень урожайності: в роки з низькими врожаєм їх кількість становила лише 36 – 47 мм, тоді як у врожайні роки – 76 – 119 мм. У сприятливі періоди висота рослин на початок цвітіння коливалася в межах 57 – 74 см, тоді як у несприятливі – знижувалася до 28 – 39 см. Встановлена залежність врожаїв гороху від середньої температури повітря за період від сходів до утворення суцвіть. Ця залежність характеризується коефіцієнтом кореляції – 0,52. При середніх температурах повітря, які коливаються від 11 до 19°C формуються врожайності від 1,1 до 3,4 т/га. Досліджено, що однією з найбільш інформативних характеристик посівів є висота рослин. Максимальний урожай було отримано при висоті гороху 57 – 74 см. При більших і менших значеннях висоти урожайність культури знижувався. Низьким врожаєм (1,1 – 1,7 т/га) відповідають посіви з висо-

¹ доктор географічних наук,
професор кафедри агрометеорології та агроекології
(Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, м. Одеса)
e-mail: apolevoy@te.net.ua
ORCID: 0000-0001-8395-0068

² кандидат географічних наук, доцент,
завідувач кафедри агрометеорології та агроекології
(Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, м. Одеса);
провідний співробітник
(Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України)
e-mail: rada.d.4109001@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6650-758X

³ кандидат географічних наук,
доцент кафедри агрометеорології та агроекології
(Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, м. Одеса);
старший співробітник
(Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України)
e-mail: lena5933@ukr.net
ORCID: 0000-0002-9054-142X

тою 28 – 40 см. Рослини, які мають висоту 75 – 80 см, зі слабкою соломиною схильні до полягання через навантаження або через сильні вітри, або сильні опади. Густина посіву є другою фотометричною характеристикою, що суттєво впливає на врожай гороху. Високі врожаї гороху були зібрані по області, коли густина стояння рослин складала 159 – 180 рослин на 1 м². Їх величина сягала 2,8 – 3,4 т/га. Найбільш низькі врожаї від 1,1 до 1,7 т/га отримують при зріджених посівах 96 – 130 рослин на 1 м². Отримані багатofакторні залежності врожаю гороху від агрометеорологічних факторів, які можуть використовуватись для уточнення прогнозу середнього по області врожаю гороху.

Ключові слова: горох, метеорологічні показники, міжфазні періоди, густина, висота, формування врожаю.

AGROCLIMATIC CONDITIONS OF PEA PRODUCTIVITY IN CHERKASY REGION UNDER CONDITIONS OF CLIMATE WARMING

A. M. Polevoy, O. V. Volvach, O. A. Barsukova

Global warming leads to a decrease in agricultural production, so the study of their impact on the agroclimatic conditions of growing crops is an important step towards the adaptation of agriculture to new conditions of activity. The purpose of our study is to determine the impact of modern climate change on the conditions of growing peas. The results of the analysis of the dynamics of average regional yield are presented. The difference in annual agrometeorological indicators in terms of different years in terms of yield is traced. The amount of precipitation in the critical period for crop development, which affects the level of yield, was established: in years with low yields, their amount was only 36 – 47 mm, while in productive years – 76 – 119 mm. In favorable periods, the height of plants at the beginning of flowering fluctuated within 57–74 cm, while in unfavorable ones – it decreased to 28 – 39 cm. The dependence of pea yields on the average air temperature for the period from germination to the formation of inflorescences is established. This dependence is characterized by a correlation coefficient of 0,52. At average air temperatures ranging from 11 to 19°C, yields from 11 to 34 c/ha are formed. It was studied that one of the most informative characteristics of crops is the height of plants. The maximum yield was obtained at a pea height of 57–74 cm. At higher and lower values of height, the crop yield decreased.

Low yields (1,1–1,7 t/ha) correspond to crops with a height of 28–40 cm. Plants with a height of 75–80 cm, with weak straw, are prone to lodging due to load or due to strong winds or heavy rainfall.

Sowing density is the second photometric characteristic that significantly affects the pea yield. High yields of peas were collected in the region when the plant density was 159 – 180 plants per 1 m². Their value reached 2,8 – 3,4 t/ha. The lowest yields from 1,1 to 1,7 t/ha are obtained with thinned crops of 96 – 130 plants per 1 m². Multifactorial dependences of the pea yield on agrometeorological factors were obtained, which can be used to refine the forecast of the average pea yield for the region.

Key words: peas, meteorological indicators, interphase periods, density, height, crop formation.

Вступ

Сьогодні вирощування гороху в Україні стикається з рядом серйозних кліматичних викликів, які суттєво впливають на врожайність та якість продукції. Основними з цих викликів є зміна температур, нерівномірний розподіл опадів та екстремальні погодні явища. Підвищення середньорічних температур призводить до більш швидкого висихання ґрунту, що ускладнює забезпечення рослин достатньою кількістю вологи. Нерівномірні опади, коли періоди інтенсивних дощів змінюються тривалими посухами, створюють додаткові труднощі для фермерів. Екстремальні погодні явища, такі як град, сильні вітри або заморозки, можуть завдати серйозної шкоди посівам гороху, знищуючи врожай або значно знижуючи його якість.

Горох – унікальна бобова культура, яка володіє значними технічними і харчовими цінностями порівняно з іншими бобовими, має високу врожайність зерна, добрі показники якості та короткий вегетаційний період. Культура використовується у двох основних напрямках: у якості білкового кормового інгредієнта для сільськогосподарських тварин і харчового продукту. Окрім рослинних білкових ресурсів, горох виконує роль найкращого попередника для багатьох сільськогосподарських культур і є цінною сидеральною культурою (Петриченко і Лихочвор, 2020; Вольвач та ін., 2021).

Симбіоз сучасних інтенсивних сортів бобових культур та штамів бульбочкових бактерій зумовлює підвищення продуктивності рослин на 10 – 30%. Симбіотична

система рослин гороху залишається активною протягом усіх фаз росту. Біологічний азот, який засвоюється за період вегетації бобових культур, екологічно безпечний та поліпшує родючість ґрунту (Чекригін, 2003; Chen et al, 2006; Іщенко та ін., 2013; Чинчик, 2015; Третякова та ін., 2019; Сторожик і ін., 2024;).

За вегетаційний період горох, залежно від рівня врожайності, залишає з соломою і рослинними рештками орієнтовно 60 – 90 кг/га азоту, 15 – 20 кг/га фосфору, 20 – 30 кг/га калію. Він є добрим фітосанітаром, покращує структуру ґрунту і підвищує його родючість (Ковшакова і Аверчев, 2019; Рудніченко, 2019).

Традиційний ярий горох належить до рослин з помірними вимогами до тепла, рослина здатна проростати і вегетувати за температур 3–5 °C та витримувати короткочасні заморозки до -7 °C (Лихочвор та ін., 2003; Кириченко та ін., 2009).

Однією з головних умов підвищення валового збору зерна гороху та зростання параметрів ефективності його виробництва є розробка та запровадження у виробництво новітніх технологічних прийомів підвищення продуктивності культури (Камінський та ін., 2021; Рибальченко і Косенко, 2023). Агротехніка вирощування гороху завжди повинна забезпечувати сприятливі умови для росту і розвитку рослин на кожному етапі органогенезу (Телекало, 2009).

Густота рослин суттєво впливає на масу та висоту рослин, структуру врожаю, строки фенологічних фаз та продуктивність фотосинтезу. В одних випадках підвищені норми висіву позитивно впливають на врожайність, а в інших врожайність суттєво не змінюється при різних нормах висіву. Збільшуючи або зменшуючи площу живлення, можна підвищити ефективність мінеральних добрив. У надто загущених посівах прискорюється споживання елементів живлення, особливо азоту. Рослини взаємно затіняють одна одну, стебла надмірно розростаються, асиміляційна здатність рослин знижується і, відповідно, зменшується кількість плодоносних вузлів, бобів і насіння. Тут суттєво знижується маса 1000 насіння, що негативно позначається як на урожайності гороху, так і на якості насіння (Дідур і Захарчук, 2016; Дворецька та ін., 2016; Глубокий та ін., 2021).

Метою нашого дослідження є визначення впливу сучасних кліматичних змін на умови вирощування гороху.

Матеріал і методи

Основним завданням сучасного сільськогосподарства є забезпечення стабільно високих урожаїв цінних культур. Досягти цього можна за умови максимально ефективного використання кліматичних ресурсів та оцінки їхньої відповідності біологічним вимогам гороху, що має як наукове, так і практичне значення.

Для цього було проаналізовано багаторічні дані спостережень агрометеорологічних станцій щодо фенології гороху та метеорологічних факторів за період 2000 – 2023 рр., а також статистичні матеріали Держкомстату України.

Результати та їх обговорення

Урожайність гороху формується елементами структури врожаю і в першу чергу залежить від кількості рослин на одиницю площі та їх індивідуальної продуктивності. Між продуктивністю окремої рослини та рівнем урожаю існує пряма залежність: підвищення врожайності супроводжується зростанням продуктивності і навпаки. Основними показниками, що визначають продуктивність рослин, є кількість бобів на рослині, кількість насіння у бобі та маса насіння з одного бобу.

Формування врожаю зумовлюється дією комплексу чинників, серед яких головними є сонячна радіація, волога, тепло, родючість ґрунту, рівень агротехніки, сортові особливості та фотосинтетичний потенціал посівів. Визначення специфіки впливу цих факторів, виділення найбільш значущих та опис їхнього зв'язку з урожайністю є ключем до науково обґрунтованого аналізу процесів, що відбуваються в агроценозах.

Упродовж вегетаційного періоду потенційна врожайність рідко реалізується повністю через відхилення погодних і ґрунтових умов від оптимальних, що зумовлює розрив між потенційним і фактичним урожаєм. Основний екологічний принцип підвищення продуктивності полягає у гармонізації потреб рослин із умовами зовнішнього середовища.

За період 2000 – 2023 рр. у Черкаській області вегетація гороху від сходів до досягання тривала в середньому 93 дні (табл. 1). Середня температура повітря у цей період становила 16,1 °C, кількість опадів – 181 мм, дефіцит вологості повітря – 545 мм, а середня вологозабезпеченість посівів – 74 %. Мінімальні та максимальні значення середніх температур у регіоні становили відповідно 13,6 °C (2020 р.) та 19,2 °C (2012 р.),

тоді як сума активних температур коливалася в межах 1340 – 1636 °С. Максимальна кількість опадів зафіксована у 2001 р. (297 мм), мінімальна – у 2017 р. (72 мм). Середнє випаровування становило 257 мм, хоча в окремі роки перевищувало 350 – 400 мм через інтенсивні зливи (274–308 мм). Загалом випаровуваність у регіоні коливалася в межах 283 – 428 мм.

Форма тренду та його параметри визначаються в результаті підбору найкращої функції з числа відомих. При правильному виборі тренду, відхилення від нього будуть носити випадковий характер. Основна ідея методу гармонійних вагів у тому, що в результаті зважування певним чином окремих спостережень часового ряду, більш пізнім надається більша вага.

В Черкаській області урожайність гороху за досліджуваний період варіює від 1,2 до

3,4 т/га. Динаміка урожайності представлена на рис. 1. Лінія тренду вказує на те, що урожайність гороху по області має тенденцію до збільшення.

Амплітуда коливань урожайності гороху на початку досліджуваного періоду становила 0,5 – 1,2 т/га, тоді як у середині періоду вона зменшилася до 0,7 т/га. Це свідчить про те, що навіть за умов високого рівня землеробства вплив погодних факторів на формування врожайності залишається значним. Ймовірність появи років із сприятливими та середніми агрометеорологічними умовами становить 58 %, при цьому врожайність коливається в межах 2,08 – 3,38 т/га. Водночас у 42 % випадків фіксувалися несприятливі умови, за яких урожайність знижувалася до 1,2 – 2,3 т/га.

Оцінка років з високими та низькими врожайностями показала, що різниця між їх мак-

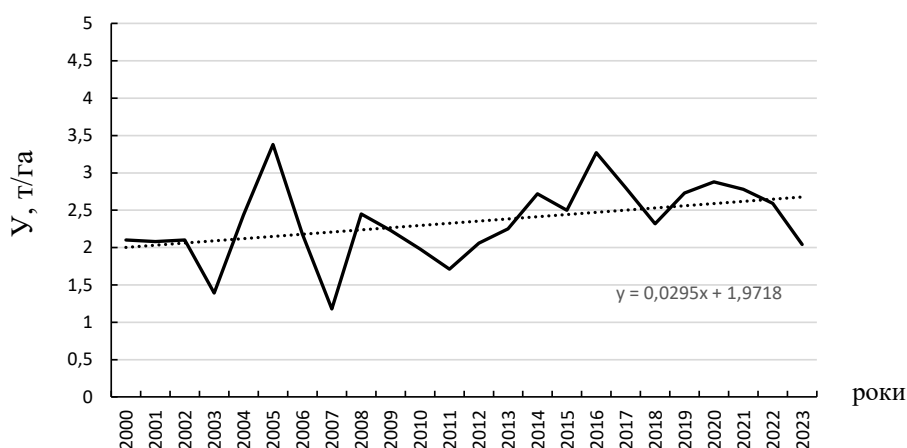


Рис. 1. Динаміка врожайності гороху та лінія тренду по Черкаській області

Таблиця 1

Агрометеорологічні показники вирощування гороху в Черкаській області за період вегетації сходи – досягання

Показники		Серед.	Мах	Min
Дата настання фази	сівба	7.04	20.04	18.03
	досягання	8.07	16.07	24.06
Тривалість періоду, дні		93	106	73
Сума температур повітря вище 5 °С	актив.	1489	1636	1340
	ефектив.	1024	1148	905
$\bar{t}$, °С		16,1	19,2	13,6
$\sum R$, мм		181	297	72
Запаси вологи в шарі ґрунту, см	$W_{\text{п}}$	167	204	106
	$W_{\text{к}}$	95	178	47
$\sum d$, мм		545	658	435
$E_{\text{ф}}$, мм		257	376	179
E_0 , мм		354	428	283
V , %		74	125	43

симальними і мінімальними значеннями не є надто значною. Проте простежуються певні відмінності у тривалості вегетаційного періоду, який скорочувався залежно від температурних умов. Основним чинником цього є середня температура повітря: у врожайні роки вона перебувала в оптимальних межах для росту гороху (13 – 16 °С), тоді як у маловрожайні роки підвищувалася до 15–18 °С. Підвищена температура негативно впливала на водний режим ґрунту, зумовлюючи інтенсивніше випаровування вологи.

Аналіз сум опадів у критичні фази розвитку культури засвідчив, що в роки з низькими врожайностями їх кількість становила лише 36 – 47 мм, тоді як у врожайні роки – 76 – 119 мм. Це істотно позначилося на формуванні врожаю. Зокрема, у сприятливих періодах висота рослин на початок цвітіння коливалася в межах 57 – 74 см, тоді як у несприятливих – знижувалася до 28 – 39 см. Густота рослин гороху в роки зі сприятливими та несприятливими агрометеорологічними умовами на початок цвітіння істотних відмінностей не виявляла.

Для виявлення найбільш впливового метеорологічного показника або їх комплексу на урожайність були проаналізовані статистичні зв'язки урожаю гороху з різними метеорологічними елементами.

На дату періоду сівба – сходи (рис. 2) були побудовані графіки залежності урожайності від середньообластних запасів продуктивної вологи. З досліджень видно, що зв'язок не дуже тісний, однак простежується той факт, що якщо на дату сходів запаси продуктивної вологи були вище 20 мм, то урожай збільшується. У Черкаській області запаси продуктивної вологи на весну не грають істотної ролі у формуванні урожаю, так як їх значення на дату сходів практично завжди знаходяться в межах оптимуму.

На рис. 3 представлений графік залежності врожаю гороху від середньої температури повітря за період від сходів до утворення суцвіть. Залежність врожаю гороху від середньої температури повітря за період тісна, тіснота зв'язку характеризується не високим коефіцієнтом кореляції – 0,52. При середніх температурах повітря, які коливаються від 11 до 19 °С формуються врожаї від 1,1 до 3,4 т/га.

Досліджено, що однією з найбільш інформативних характеристик посівів є висота рослин. Залежність урожаю (У) гороху від висоти (Н) рослин (рис. 4) у фазу масового утворення суцвіть описується рівнянням

$$y = -0,0091 H^2 + 1,257 H - 16,063 \quad (1)$$

і характеризується значенням коефіцієнта кореляції $r = 0.74$

Таблиця 2

Урожайність гороху в роки зі сприятливими та несприятливими агрометеорологічними умовами в Черкаській області

Рік	Урожай, т/га	Тривал. вегетац. п-ду, дні	Сума опадів, мм		Запаси вологи 0-100см, мм		Серед. температура, °С.		Висота рослин, см	Густота рослин, шт./кв. м	Вологозабез- печеність, %
			кр. період	вег. період	кр. період	вег. період	крит. період	вег. період			
	Роки з високою урожайністю										
2005	3,38	95	76	155	140	149	18,4	14,8	74	159	68
2016	3,27	96	79	236	143	152	19,4	16,2	57	175	99
2020	2,88	114	119	236	126	116	17,7	13,6	70	129	65
	Роки з низькою урожайністю										
2003	1,39	79	47	143	147	160	18,9	17,8	39	96	56
2007	1,18	95	36	198	138	148	22,1	15,0	28	179	71
2011	1,71	96	38	274	153	156	20,9	15,7	38	257	68

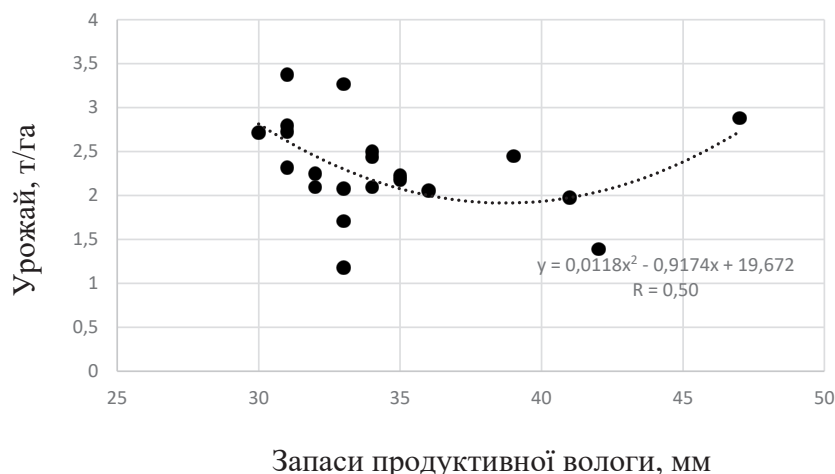


Рис. 2. Залежність урожаїв гороху в Черкаська області від середніх запасів продуктивної вологи за період від сівби до сходів

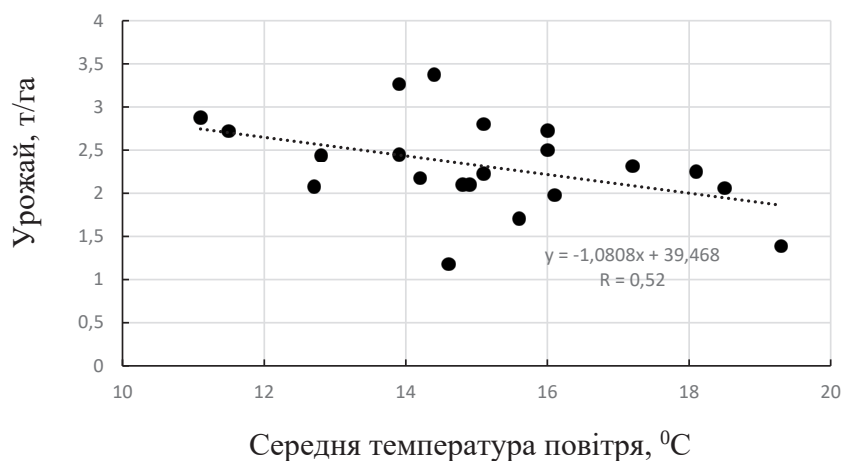


Рис. 3. Залежність урожаїв гороху в Черкаська області від середньої температури повітря за період від сходів до утворення суцвіть

Після утворення суцвіть ріст стебла здійснюється почерговим подовженням міжвузлів. Чим довші ці міжвузля, тим вищим буде врожай надземної маси і зерна, і навпаки. Аналізуючи рис.4 видно, що максимальний урожай було отримано при висоті гороху 57 – 74 см. При більших і менших значеннях висоти урожайність культури знижувався. Низьким врожаям (1,1 – 1,7 т/га) відповідають посіви з висотою 28 – 40 см. Коли при оптимальній висоті рослин були отримані низькі врожаї гороху, це пояснити можна аномальними умовами погоди конкретного року. Прикладом може бути 2003 рік, що характеризувався сильною посухою в травні місяці. Рослини, які мають висоту 75 – 80 см, зі слабкою соломиною схильні до полягання через

навантаження або через сильні вітри, або сильні опади.

Густота посіву є другою фотометричною характеристикою, що суттєво впливає на врожай гороху. На рис. 5 у фазу початок цвітіння залежність урожаю (y) гороху від густоти посіву (N) на 1 м² описується рівнянням

$$y = -0,0012 N^2 + 0,3966 N - 9,3028 \quad (2)$$

і коефіцієнтом кореляції $r = 0.425$. В цій залежності враховані стебла з формування бобів. Високі врожаї гороху були зібрані по області, коли густота стояння рослин на 1 м² складала 159 – 180 рослин. Їх величина сягала 2,8 – 3,4 т/га. Найбільш низькі врожаї від 1,1 до 1,7 т/га виходять при зрідженні посівах 96 – 130 рослин на квадратний метр (рис. 5).

Густота рослин суттєво впливає на масу та висоту рослин, структуру врожаю, строки фенологічних фаз та продуктивність фотосинтезу. В одних випадках підвищені норми висіву позитивно впливають на врожайність, а в інших урожайність суттєво не змінюється при різних нормах висіву. Збільшуючи або зменшуючи площу живлення, можна підвищити ефективність мінеральних добрив. У надто загущених посівах прискорюється споживання елементів живлення, особливо азоту. Рослини взаємно затіняють одна одну, стебла надмірно розростаються, асиміляційна здатність рослин знижується і, відповідно, зменшується кількість плодоносних вузлів, бобів і насіння. Тут суттєво знижується маса 1000 насіння, що негативно позначається як на урожайності гороху, так і на якості насіння.

Кореляційний аналіз дозволив відокремити агрометеорологічні фактори, які найбільш суттєво впливають на формування врожаю. Були розраховані багатофакторні рівняння залежності врожайності гороху від комплексу агрометеорологічних факторів в різні періоди розвитку.

Було отримано багатофакторне рівняння залежності врожаю гороху від тривалості періоду (n), суми опадів (R) та висоти рослин (h) на період утворення суцвіть – кінець цвітіння:

$$Y = 0.215 n - 0.39h - 0.07r + 11.9 \quad (3)$$

$$r = 0.48$$

Також було розраховане рівняння залежності урожаю гороху від середніх запасів вологи (W) в шарі 0-20 см за період сівба – сходи, висоти рослин на фазу початок цві-

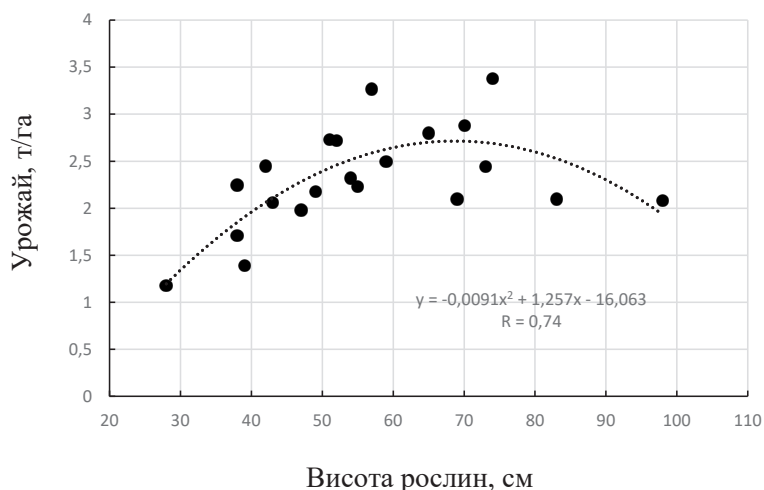


Рис. 4. Залежність урожаю гороху в Черкаська області від висоти рослин на початок цвітіння

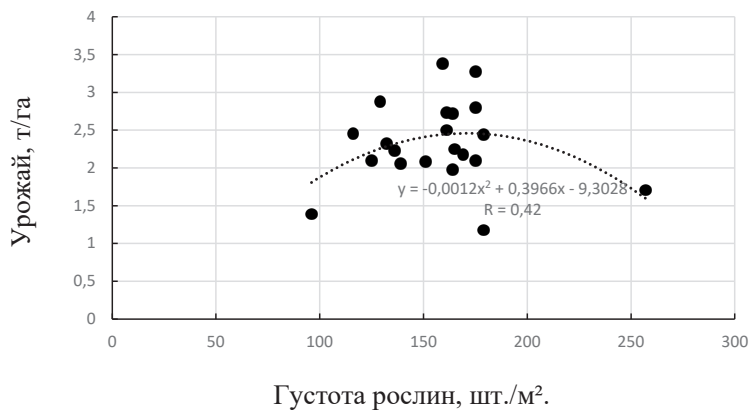


Рис. 5. Залежність урожаю гороху в Черкаська області від густоти рослин на початок цвітіння

тіння (h) та середньої температури повітря за період утворення суцвіть до цвітіння (t):

$$U = 0,161 h - 0,63 W - 0,70 t + 62,47 \quad (4)$$

Коефіцієнт кореляції зв'язку $r = 0,70$

Отриманні рівняння можуть використовуватися для уточнення прогнозу середнього по області врожаю.

Висновки

Виконані розрахунки та аналіз агрокліматичних умов вирощування гороху в Черкаській області показав, що в умовах потепління клімату тренд стаціонарної компоненти має зростаючий характер. При цьому спостерігається значне відхилення щорічних врожаїв від лінії тренду за рахунок змінної компоненти – кліматичної складової врожайності.

Визначено основні агрометеорологічні умови, що впливають на формування врожаю гороху. З'ясовано, що кількість опадів у критичний період розвитку культури істотно впливає на рівень урожайності. У роки з низькими врожаєми їх кількість становила лише 36 – 47 мм, тоді як у врожайні роки – 76 – 119 мм.

У сприятливих умовах висота рослин на початку цвітіння коливалася в межах 57 – 74 см, тоді як у несприятливих умовах вона зменшувалася до 28 – 39 см. Також встановлено залежність врожайності гороху від середньої температури повітря у період від появи сходів до формування суцвіть.

Дослідження показали, що однією з найбільш інформативних характеристик стану посівів є висота рослин. Найвищу врожайність отримували при висоті рослин 57–74 см. При більших або менших значеннях висоти врожайність культури знижувалася.

Другим важливим фотометричним показником, який суттєво впливає на врожай гороху, є густина посівів. Найвищі врожаї по області (2,8–3,4 т/га) отримували за густоти стояння рослин 159 – 180 рослин на 1 м². Найнижча врожайність (1,1–1,7 т/га) спостерігалася при зріджених посівах із густотою 96 – 130 рослин на 1 м².

У результаті досліджень отримано багатофакторні залежності врожайності гороху від агрометеорологічних чинників, які можуть бути використані для уточнення прогнозу середнього по області врожаю цієї культури.

Список використаної літератури

- Вольвач, О. В., Жигайло, О. Л., Колосовська, В. В., Костюкєвич, Т. К. Агроекологічна оцінка умов вирощування гороху в Запорізькій області України. *Науково-практичний журнал Екологічні науки*. 2021. 3 (36). С. 81–85. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.есо.3-36.13>
- Глубокий О. М., Авраменко С. В., Попов С. І. Формування продуктивності сортів гороху залежно від умов вирощування в східному лісостепу України. *Генетичні ресурси рослин*. 2021. № 29. С. 113–122. <https://doi.org/10.36814/pgr.2021.29.11>
- Дворецька С. П., Рябокін Т. М., Каражбей Т. В. Вплив агрометеорологічних умов на формування продуктивності сортів гороху. *Збірник наукових праць Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН»*. 2016. № 1. С. 36–45.
- Дідур І. М., Захарчук В. В. Вплив елементів технології вирощування на врожайні показники зерна гороху. *Сільське господарство та лісівництво*. 2016. № 4. С. 55–61.
- Іщенко В.А., Томашина Г.П., Темченко А.М. Поширеність гороху та ефективність елементів його вирощування в умовах північного Степу. *Науковий збірник : Вісник Степу*. 2013. Вип 10. С. 49–53.
- Камінський В. Ф., Сокирко Д. П., Гангур В. В. Вплив технологічних прийомів на формування продуктивності гороху в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Таврійський науковий вісник*. 2021. Вип. 117. С. 73–79. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.10>
- Кириченко В. В., Кобизева Л. Н., Петренкова В. П., Рябчун В. К., Безугла О. М., Маркова Т. Ю. Ідентифікація ознак зернобобових культур (горох, соя) : початковий посібник. Харків : Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва УААН, 2009. 172 с.
- Ковшакова Т.С., Аверчев О.В. Розробка адаптивних технологій вирощування гороху в умовах півдня України. Матеріали Всеукр. наук.практ. конф. молодих вчених з нагоди Дня науки «Сучасна наука: стан та перспективи розвитку». Херсон, 2019. С. 39–45.
- Лихочвор В., Проць Р., Долежал Я. Горох. Львів : Українські технології. Львів, 2003. 64 с.
- Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур : підруч. Львів : НВФ "Українські технології", 2020. 806 с.
- Рибальченко А.М., Косенко В.Ю. Вплив норм висіву гороху на формування елементів структури та урожайності зерна. *Землеробство, рослинництво, овочівництво*.

тво та багаторічність. Таврійський науковий вісник. 2023. № 132. С. 204-209. DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.132.25>

Рудніченко Н. Природні ліки для ґрунту і джерело білка для людства. *Пропозиція*. 2019. № 1. С. 24–29.

Сторожик Л.І., Романов С.М., Балян І.В., Товстенко Я.Ю. Тривалість фаз органогенезу гороху озимого та його продуктивність залежно від елементів технології вирощування в Степу та Лісостепу України. *Землеробство, рослинництво, овочівництво та багаторічність. Таврійський науковий вісник*. 2024. № 137. С. 281–291. DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.34>

Телекало Н. В. Вплив комплексу технологічних прийомів на вирощування гороху посівного. *Сільське господарство та лісівництво*. 2019. Вип. 2 (13). С. 84–93. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2019-2-8>.

Третьякова С. О., Чинчик О. С., Оліфірович С. Й. та ін. Перспективи біологізації вирощування зернобобових культур в Україні. *Збірник наукових праць УНУС*. Умань, 2019. № 94. С. 198–207. DOI: <https://doi.org/10.31395/2415-8240-2019-94-1-198-207>.

Чекригін П. М. Результати і перспективи селекції безлисточкових (вусатих) сортів гороху в Інституті рослинництва ім. В. Я. Юр'єва. *Селекція і насінництво*. Харків, 2003. Вип. 87. С. 42–48.

Чинчик О. С. Вплив біопрепаратів на розвиток бульбочкових бактерій і зернову продуктивність сортів гороху. *Збірник наукових праць ПДАТУ*. Кам'янець-Подільський, 2015. Вип. 23: с.-г. науки. С. 60–67.

Chen C., Miller P., Muehlbauer F. et al. Winter pea and lentil response to seeding date and micro- and macro-environments. *Agronomy Journal*. 2006. Vol. 98. P. 1655-1663.

References

Volvach, O. V., Zhyhailo, O. L., Kolosovska, V. V., Kostiukievych, T. K. (2021). Ahroekologichna otsinka umov vyroshchuvannya horokhu v Zaporizkii oblasti Ukrainy [Agroecological assessment of pea growing conditions in the Zaporizhia region of Ukraine]. *Naukovo-praktychnyi zhurnal Ekologichni nauky* [Scientific and practical journal Ecological Sciences], 3 (36), 81-85. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.13> [in Ukrainian].

Hlubokyi, O. M., Avramenko, S. V., Popov, S. I. (2021). Formuvannya produktyvnosti sortiv horokhu zalezno vid umov vyroshchuvannya v skhidnomu lisostepu Ukrainy [Formation of productivity of pea varieties depending on growing conditions in the eastern forest-steppe of Ukraine]. *Henetychni resursy roslyn* [Plant Genetic Resources], 29, 113–122. <https://doi.org/10.36814/pgr.2021.29.11> [in Ukrainian].

Dvoretzka, S. P., Riabokin, T. M., Karazhbei, T. V. (2016). Vplyv ahrometeorologichnykh umov na formuvannya produktyvnosti sortiv horokhu [The influence of agrometeorological conditions on the formation of productivity of pea varieties]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho naukovoho tsentru «Instytut zemlerobstva NAAN»* [Collection of scientific works of the National Scientific Center "Institute of Agriculture of the NAAS"], 1, 36–45 [in Ukrainian].

Didur, I. M., & Zakharchuk, V. V. (2016). Vplyv elementiv tekhnolohii vyroshchuvannya na vrozhaeni pokaznyky zerna horokhu [Influence of elements of cultivation technology on yield indicators of pea grain.]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo* [Agriculture and Forestry], 4, 55–61 [in Ukrainian].

Ishchenko, V.A., Tomashyna, H.P., Temchenko, A.M. (2013). Poshyrenist horokhu ta efektyvnist elementiv yoho vyroshchuvannya v umovakh pivnichnoho Stepu [The prevalence of peas and the effectiveness of elements of its cultivation in the conditions of the northern Steppe]. *Naukovyi zbirnyk : Visnyk Stepu* [Scientific collection: Steppe Bulletin], 10, 49-53 [in Ukrainian].

Kaminskyi, V. F., Sokyрко, D. P., Hanhur, V. V. (2021). Vplyv tekhnologichnykh pryiomiv na formuvannya produktyvnosti horokhu v umovakh Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [The influence of technological techniques on the formation of pea productivity in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine.]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk* [Tavria Scientific Bulletin], 117, 73–79. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.10> [in Ukrainian].

Kyrychenko V. V., Kobyzeva L. N., Petrenkova V. P., Ryabchun V. K., Bezugla O. M., Markova T. Yu. (2009). Identyfikatsiia oznak zernobobovykh kultur (horokh, soja) : nachalnyi posibnyk [Identification of traits of leguminous crops (peas, soybeans) : a beginner's guide]. Kharkiv : Instytut roslivnytstva im. V. Ya. Yurieva UAAN, 172 [in Ukrainian].

Kovshakova, T.S., & Averchev, O.V. (2019). Rozrobka adaptivnykh tekhnolohii vyroshchuvannya horokhu v umovakh pivdnia Ukrainy [Development of adaptive technologies for growing peas in the

conditions of southern Ukraine]. *Materialy Vseukr. nauk.prakt. konf. molodykh vchenykh z nahody Dnia nauky «Suchasna nauka: stan ta perspektyvy rozvytku»* [Materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference of young scientists on the occasion of Science Day "Modern science: state and development prospects"]. Kherson, 39–45 [in Ukrainian].

Lykhochvor, V., Prots, R., Dolezhal, Ya. (2003). Horokh [Gorokh]. Lviv : Ukrainski tekhnolohii. Lviv, 64 [in Ukrainian].

Petrychenko, V. F., & Lykhochvor, V. V. (2020). Roslynnnytstvo. Novi tekhnolohii vyroshchuvannia polovykh kultur : pidruch [Crop production. New technologies for growing field crops: tutorial]. Lviv : NVF "Ukrainski tekhnolohii", 806 [in Ukrainian].

Rybalchenko, A.M., & Kosenko, V.Yu. (2023). Vplyv norm vysivu horokhu na formuvannia elementiv struktury ta urozhainist zerna [The influence of pea sowing rates on the formation of structural elements and grain yield.]. *Zemlerobstvo, roslynnnytstvo, ovochivnytstvo ta bashtannnytstvo. Tavriiskyi naukovyi visnyk* [Agriculture, crop production, vegetable growing and melon growing. Tavia Scientific Bulletin], 132, 204-209. DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.132.25> [in Ukrainian].

Rudnichenko, N. (2019). Pryrodni liky dla gruntu i dzherelo bilka dla liudstva [Natural medicines for the soil and a source of protein for humanity]. *Propozytsiia* [Proposal], 1, 24–29 [in Ukrainian].

Storozhyk, L.I., Romanov, S.M., Balian, I.V., Tovstenko, Ya.Yu. (2024). Tryvalist faz orhanohenezu horokhu ozymoho ta yoho produktyvnist zalezno vid elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia v Stepu ta Lisostepu Ukrainy [Duration of organogenesis phases of winter peas and its productivity depending on elements of cultivation technology in the Steppe and Forest-Steppe of Ukraine]. *Zemlerobstvo, roslynnnytstvo, ovochivnytstvo ta bashtannnytstvo. Tavriiskyi naukovyi visnyk* [Agriculture, crop production, vegetable growing and melon growing. Tavia Scientific Bulletin.], 137, 281-291 <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.34> [in Ukrainian].

Telekalo, N. V. (2019). Vplyv kompleksu tekhnolohichnykh pryiomiv na vyroshchuvannia horokhu posivnoho [The influence of a complex of technological methods on the cultivation of field peas]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo* [Agriculture and Forestry], 2 (13), 84–93. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2019-2-8> [in Ukrainian].

Tretiakova, S. O., Chynchyk, O. S., Olifirovych, S. Y. ta in.(2019). Perspektyvy biolohizatsii vyroshchuvannia zernobobovykh kultur v Ukraini [Prospects for biologization of legume cultivation in Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats UNUS* [Collection of Scientific Works of the UNUS]. Uman, 94, 198–207. DOI: <https://doi.org/10.31395/2415-8240-2019-94-1-198-207> [in Ukrainian].

Chekryhin, P. M. (2003). Rezultaty i perspektyvy selektsii bezlystochkovykh (vusatykh) sortiv horokhu v Instytuti roslynnnytstva im. V. Ya. Yurieva [Results and prospects of selection of leafless (whiskered) pea varieties at the V. Ya. Yuryev Institute of Plant Breeding]. *Selektsiia i nasinnytstvo* [Selection and Seed Production]. Kharkiv, 87, 42–48 [in Ukrainian].

Chynchyk, O. S. (2015). Vplyv biopreparativ na rozvytok bulbochkovykh bakterii i zernovu produktyvnist sortiv horokhu [The influence of biological products on the development of nodule bacteria and grain productivity of pea varieties]. *Zbirnyk naukovykh prats PDATU* [Collection of scientific works of the PSUTU]. Kamianets-Podilskyi, 23: s.-h. nauky, 60–67 [in Ukrainian].

Chen, C., Miller, P., Muehlbauer, F. et al. (2006). Winter pea and lentil response to seeding date and micro- and macro-environments. *Agronomy Journal*, 98, 1655–1663 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 11.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



УДК635.261:631.531
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.26>

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ РОЗСАДИ І ВРОЖАЙНІСТЬ ЦИБУЛІ ПОРЕЙ (*ALLIUM PORRUM L.*)

Г. Я. Слободяник¹

Вища врожайність цибулі порей в умовах Лісостепу України за розсадного способу вирощування. Щоб здешевити вартість розсади цибулі порей ущільнюють її посіви. Проте, зменшення площі живлення розсади цибулі порей потребує оптимального співвідношення з тривалістю вирощування. У статті наведено оцінку впливу касетного і безкасетного способів вирощування (фактор А), віку розсади 60–70 діб (фактор В) і середньої площі живлення розсади 8–16 см² (фактор С) на ріст і врожайність цибулі порей. Дослідження проведено в Черкаській області (Уманський національний університет) у 2020–2022 рр. Оцінювали біометричні параметри кореневої системи і листків розсади залежно від досліджуваних умов, динаміку росту після висаджування в поле і якість товарного врожаю цибулі порей.

На підставі проведених досліджень встановлено, що всі досліджувані фактори достовірно впливали на якість розсади цибулі порей. Найбільшу загальну масу розсади (2,34 г/рослину) одержано за вирощування 70-денної касетної розсади на площі живлення 16 см². На період висаджування найвищою була 70-денна розсада безкасетного способу вирощування – 15,1–16,2 см. Проте, маса кореневої системи істотно більша у касетної розсади – 0,88–1,08 г/рослину. Частка маси коренів у касетної розсади становила 36–46% від загальної. Нижчі біометричні параметри були у розсади цибулі порей за тривалості вирощування 60 діб і площі живлення 8 см². Цибуля порей із касетної розсади інтенсивно розвивалася після пересаджування у поле і через два місяці збільшувала площу листків на 66–79%. За безкасетного способу вирощування розсади приріст площі листків становив відповідно 38–69%.

Вирощування розсади цибулі порей по дві рослини у чарунці (площа живлення 8 см²) достовірно підвищує загальну врожайність внаслідок більшого загущення насаджень. Приріст врожайності 70-денної розсади у середньому по фактору В був 4,8 т/га, порівняно до 60-денної. Середня по фактору А врожайність насаджень безкасетної розсади цибулі порей була у 1,3 рази нижча, порівняно до касетної. Одержані дані свідчать про доцільність вирощування розсади цибулі порей у касетах по дві рослини у чарунці за площі живлення 8 см² впродовж 70 діб.

Ключові слова: цибуля порей, касетна розсада, безкасетна розсада, вік розсади, площа живлення розсади, врожайність.

¹ кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри овочівництва
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: slobohalyna1@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3419-9751

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE FORMATION OF SEEDLINGS AND YIELD OF LEEK (*ALLIUM PORRUM* L.)

H. Ya. Slobodianyuk

Higher yield of leeks under seedling cultivation in the Forest-Steppe zone of Ukraine. To lower the production cost of leek seedlings, higher sowing densities are applied. However, reducing the feeding area of leek seedlings requires an optimal balance with the duration of cultivation. The article provides an assessment of the influence of plug and non-plug seedling cultivation methods (factor A), seedling age of 60–70 days (factor B) and average seedling feeding area of 8–16 cm² (factor C) on the growth and yield of leeks. The study was conducted in Cherkasy region (Uman National University) in 2020–2022. The biometric parameters of the root system and leaves of seedlings was assessed depending on the studied conditions, along with post-transplant growth dynamics and the quality of marketable leek yield.

Based on the conducted studies, it was found that all the studied factors significantly influenced the quality of leek seedlings. The largest total mass of seedlings (2.34 g·plant⁻¹) was obtained when growing 70-day-old plug seedlings on a feeding area of 16 cm². During the planting period, the highest was the 70-day-old non-plug seedling – 15.1–16.2 cm. However, the mass of the root system is significantly greater than that of the plug cultivation method – 0.88–1.08 g·plant⁻¹. The share of root mass in plug seedlings was 36–46 % of the total. Lower biometric parameters were in leek seedlings grown for 60 days and a feeding area of 8 cm². Leek from plug seedlings developed intensively after transplanting into the field and after two months increased leaf area by 66–79 %. With the bare-root method of growing seedlings, the increase in leaf area was 38–69 %, respectively.

Growing leek seedlings two plants per cell (feeding area 8 cm²) significantly increases the overall yield due to greater density of plantings. The increase in yield of 70-day seedlings on average by factor B was 4.8 t·ha⁻¹, compared to 60-day seedlings. The average yield of non-plug seedlings of leek on factor A was 1.3 times lower, compared to plug seedlings. The obtained data indicate the feasibility of growing leek seedlings in plug two plants per cell with a feeding area of 8 cm² for 70 days.

Key words: leek, plug seedlings, non-plug seedlings, seedling age, seedling feeding area, yield.

Вступ

Модернізація овочівництва до рівня світових стандартів передбачає максимальну інтенсифікацію, технічне та інформаційне переоснащення галузі. Реалізація вдосконалених технологічних процесів стосується також біологічно стійких методів вирощування розсади овочевих рослин (Рудь та ін., 2023). На впровадження у спеціалізованих господарствах рослин, які потребують розсадної культури, впливає вартість, якість і вид розсади (Minami, 2003).

Індустріалізація вирощування розсади у великих комплексах із касетними системами знижує витрати і забезпечує морфологічну однорідність рослин. Касетна розсада визнана овочівниками завдяки 100% приживанню, кращим фітосанітарним кондиціям у закритому ґрунті і умовам праці (Лихацький, 2004; Яценко і Ващенко, 2025). Валовий збір овочів з касетної розсади перевищує продуктивність із горщечкової в 1,5 рази (Чередніченко і Чайка, 2022). Вегетаційний період цибулі порей становить 160–180 діб, тому збереження інтенсивного розвитку після пересаджування є досить актуальним, особливо у регіонах з коротким періодом вегетації (Улянич та ін., 2016).

Комплексне дослідження технологій вирощування розсади в оптимізованому середовищі підкреслює важливість розміру касет для кожного виду овочевих рослин (Gallegos-Cedillo et al., 2024). На обмежену об'ємні ґрунтосуміші в касетах розсада поступається за біометричними показниками рослинам безкасетного способу вирощування і для приживання в полі потребує достатньої для пересаджування фази розвитку (Лихацький, 2004). Тобто, спосіб вирощування розсади впливає на її вік.

Незважаючи на те, що вищу врожайність і якість цибулі забезпечує касетна розсада, через високу вартість її масово не використовують. Щоб компенсувати витрати на касетну розсаду, було випробувано посів в окремі чарунки по кілька насінин, щоб мати більший вихід розсади з нижчою вартістю (Leskovar et al., 2004). Якість розсади цибулі порей впливає на адаптаційні аспекти розвитку, оскільки, переросла розсада може зламатися в процесі пересаджування та більше пошкоджується її коренева система, що призводить до зниження врожайності (Sullieva et al., 2024).

Для використання в сучасних агротехнологіях недостатньо досліджень, які оцінюють взаємодію трьох стратегій управління

(спосіб вирощування, вік і площа живлення розсади) на ріст, врожайність та якість цибулі порей. Метою даного дослідження було оцінити продуктивність цибулі порей в умовах Правобережного Лісостепу України залежно від виду посадкового матеріалу з врахуванням тривалості вирощування і середньої площі живлення розсади.

Матеріал і методи

Впродовж 2020–2022 рр. порівнювали ефективність – способів вирощування розсади цибулі порей (фактор А) – касетний і безкасетний за віку розсади (фактор В) – 60 діб і 70 діб та площі живлення розсади (фактор С) – 8 см² (схема розміщення 4×4 см по дві рослини у чарунці касети або лунці), 16 см² (схема розміщення 4×4 см по одній рослині у чарунці касети або лунці). Контроль – безкасетна 60-денна розсада площею живлення 16 см². У плівковій розсадно-овочевій теплиці висівали насіння цибулі порей гібриду Джампер у касети і гряди із удобреного субстрату.

Касетну розсаду вирощували у пластикових касетах з об'ємом чарунок 40 см³. Кількість рослин в облікових касетах – 280 шт. у чотириразовій повторності. Впродовж вирощування розсади обліки виконували кожні 10 діб, а після пересаджування у відкритий ґрунт – кожні 20 діб. У поле розсаду цибулі порей висаджували у другій декаді квітня, за схемами розміщення 45×15 см і 45×15(2) см залежно від способу вирощування розсади, тому кількість висаджених рослин була 147,1 тис. шт./га і 296,3 тис. шт./га відповідно. Збирали і обліковували врожай несправжнього стебла в першій декаді жовтня. Дотримувалися загальноприйнятих технологічних і методичних рекомендацій догляду за рослинами та проведення досліджень (Бондаренко і Яковенко, 2001).

Статистичну обробку здійснювали дисперсійним, кореляційним аналізом і множинним порівнянням середніх показників (критерій Тьюкі) пакетами програм Microsoft Office Excel та Statistica 10, достовірність відмінностей визначали на рівні $p < 0,05$.

Результати

Основними показниками якості розсади цибулі порей є висота і маса рослин. У середньому за досліджуваний період висота розсади на період висаджування варіювала від 12,1 см до 16,2 см (табл. 1). Мінливість висоти розсади у досліді була значною згідно коефіцієнту варіювання 42 %. Найнижчою на період висаджування була 60-денна

касетна розсада. Закономірно, що розсада віком 70 діб була вищою, у середньому по фактору В різниця між 60- і 70-денними рослинами становила 2,1 см. Варто відмітити більший приріст висоти касетної розсади впродовж останніх 10 діб її вирощування – на 2,4 см. Розташування по дві рослини цибулі порей у чарунці касети або лунці гряди (площа живлення 8 см²) забезпечує формування касетної розсади висотою 14,1 см, безкасетної – 15,3 см у середньому від взаємодії факторів А×С.

За результатами дисперсійного аналізу і критерію Тьюкі не встановлено значної відмінності між даними висоти розсади залежно від досліджуваних факторів. Згідно технологічних рекомендацій, кореневу систему безгорщечкової і безкасетної розсади цибулевих овочевих рослин рекомендується вкорочувати на 2/3 довжини для зручного висаджування. Тому, маса кореневої системи безкасетної розсади, яку фактично оцінювали підготовленою до висаджування в поле була значно меншою, порівняно із касетною розсадою. На відміну від показників висоти рослин, площа живлення розсади 16 см² (одна рослина у чарунці) сприяла формуванню більшої кореневої системи, зокрема маса коренів 70-денної касетної розсади становила 1,08 г. Згідно з критерієм Тьюкі, маса кореневої системи 60-денної касетної розсади 0,53–0,71 г/шт. не мала статистично значущих відмінностей залежно від розміщення по одній або по дві рослини у чарунці. У середньому за взаємодією факторів А×В за останні 10 діб приріст маси кореневої системи складав 37 %.

Сира маса надземної частини розсади цибулі порей корелює з висотою рослин ($r=0,74$), вплив фактору А (спосіб вирощування) на формування надземної маси становив 65 %, а фактору В (вік розсади) – 28 %. Середня для фактору А надземна маса більша у безкасетної розсади – 1,90 г/шт., для фактору В у 70-денної – 1,77, для фактору С – за площі живлення 16 см² – 1,57 г/шт. За касетного способу вирощування середня для фактору А надземна маса на 39 % менша, порівняно до безкасетних рослин. За площі живлення 8 см² надземна маса 70-денної касетної розсади була лише на 0,07 г більша, аніж за площі живлення 16 см². Найвищі показники надземної маси у 70-денної безкасетної розсади – 2,2–2,3 г/шт. за маси кореневої системи 0,23–0,27 г/шт. не відповідають оптимальним показникам (3-5:1) співвідношення надземної і корене-

Таблиця 1

Висота і маса розсади цибулі порей на період висаджування залежно від способу її вирощування, віку і площі живлення, середнє за 2020-2022 рр.

Спосіб вирощування (А)	Вік, діб (В)	Площа живлення, см ² (С)	Висота, см	Надземна маса, г/шт.	Маса кореневої системи розсади, підготовленої до висаджування, г/шт.	Загальна маса, г/шт.
Касетний	60	8	12,9a±0,6	0,93e±0,04	0,53d±0,04	1,46d±0,05
		16	12,1a±0,3	1,09d±0,04	0,71d±0,02	1,80c±0,03
	70	8	15,3a±3,1	1,33c±0,04	0,88b±0,03	2,21b0,13
		16	14,5a±3,1	1,26c±0,02	1,08a±0,04	2,34a±0,06
Безкасетний	60	8	14,3a±3,1	1,50b±0,04	0,17h±0,01	1,33d±0,04
		16 (St.)	13,5*a±2,8	1,61b±0,08	0,21g±0,01	1,40d±0,05
	70	8	16,2a±0,8	2,20a±0,08	0,23f±0,01	1,97b±0,08
		16	15,1a±0,7	2,30a±0,10	0,27e±0,01	2,03c±0,06
Середнє за фактором А		Касетний	13,7A±3,2	1,15B±0,16	0,80A±0,21	1,95A±0,36
		Без-касетний	14,8A±3,8	1,9A±0,37	0,22B±0,04	1,68B±0,34
Середнє за фактором В		60	13,2A±3,8	1,28B±0,29	0,41B±0,23	1,50B±0,19
		70	15,3A±4,1	1,77A±0,50	0,62A±0,38	2,14A±0,17
Середнє за фактором С		8	14,7A±3,3	1,49B±0,48	0,45B±0,29	1,74B±0,38
		16	13,8A±3,8	1,57A±0,48	0,57A±0,36	1,89A±0,36
**CV, %			42	31	65	20
НІР ₀₅ /Вплив фактора, %		A	Fт.>Fф.	0,04/65	0,02/11	0,05/14
		B		0,04/28	0,02/3	0,05/77
		C		0,04/1	0,02/5	0,05/4
		AB		0,06/5	0,02/1	Fт.>Fф.
		AC		Fт.>Fф.	0,02/0	0,07/1
		BC		0,06/0,4	Fт.>Fф.	0,07/1
		ABC		0,09/0,3	Fт.>Fф.	Fт.>Fф.

Примітка: *– різні літери вказують на відмінність між даними за критерієм Тьюкі; **– коефіцієнт варіювання.

вої маси. Дисбаланс між розвитком надземної і кореневої частини рослин обумовлює зниження темпів приживання і росту після пересаджування. Тому, щоб знизити транспірацію, листки у розсади цибулевих овочевих рослин рекомендується вкорочувати на 1/3.

За часткою впливу на загальну масу розсади цибулі порей досліджувані фактори ранжуються у такому порядку зростання: С (площа живлення) – 4 %; А (спосіб вирощування) – 14 %, В (вік розсади) – 77 %. Загальна маса 70-денної касетної розсади за показників 2,21–2,34 г у середньому за взаємодії факторів А×В перевищувала показник 60-денної у 1,4 рази. За площі живлення касетної розсади 8 см² загальна маса рослин у середньому за взаємодії факторів А×В була 1,84 г/шт., що порівняно до площі живлення 16 см² менше лише на 11 %. У безкасетних рослин різниця між

загальною масою 60- і 70-денної розсади становила у середньому для взаємодії факторів А×В – 0,64 г, а за площі живлення 8 см² і 16 см² – 0,07 г відповідно. У середньому для фактору В загальна маса 70-денної розсади цибулі порей на період висаджування перевищувала показник 60-денної на 30 %. Згідно оцінювання за критерієм Тьюкі істотно більша загальна маса розсади касетного способу вирощування віком 70 діб за площі живлення 16 см².

Накопичення асимілянтів та інтенсивність росту цибулі порей обумовлені морфогенезом і функціональною активністю листків. Однозначно, що від площі асиміляційної поверхні листків залежить фотосинтез і загальний ріст рослин. Для розсади цибулі порей відмічено позитивну кореляцію між масою надземної частини рослин і площею листків, коефіцієнт кореляції становив $r = 0,77$. Закономірно, що

внаслідок тривалішого вирощування і більшої площі живлення розсади цибулі порей формує більшу листову поверхню. У середньому за фактором В площа асиміляційної поверхні 70-денної розсади була більшою, порівняно до 60-денної на 15 % (табл. 2). Згідно дисперсійного аналізу частка впливу фактору В (вік розсади) на площу листків розсади найвища – 42 %. Внаслідок загущеного вирощування розсади цибулі порей (площа 8 см²) площа листків на період висаджування була на 10 % меншою, ніж у варіанті 16 см². Частка впливу фактору С (площа живлення) на формування асиміляційної поверхні розсади становила 20 %. Середня по фактору А (спосіб вирощування) асиміляційна поверхня касетної розсади на період висаджування була достовірно меншою – 12,20 см², ніж у безкасетної розсади – 13,94 см². Найбільшу асиміляційну поверхню формувала 70-денна безкасетна розсада на площі живлення 16 см² – 15,24 см². У аналогічній розсади касетного

способу вирощування площа листків була меншою вищезазначеного варіанту на 5 %.

Через два місяці після висаджування касетної розсади цибулі порей у поле середня за фактором А асиміляційна поверхня листків становила 47,77 см²/рослину, тоді як за безкасетного способу вирощування розсади цей показник був нижчий на 31 %. Найбільший приріст площі листової поверхні за два місяці вегетації відмічено після висаджування 70-денної касетної розсади – на 78–79 %, а найменший – після висаджування 60-денної безкасетної розсади – на 38–43 %. У безкасетної розсади більший приріст асиміляційної поверхні мали рослини віком 70 діб площі живлення 16 см² – на 69 %. За часткою впливу на асиміляційну поверхню листків цибулі порей через два місяці вегетації у відкритому ґрунті досліджувані фактори ранжуються у такому порядку зростання: С (площа живлення розсади) – 6 %, А (спосіб вирощування) – 23 %, В (вік розсади) – 69 %. Отже,

Таблиця 2

Площа асиміляційної поверхні листків цибулі порей залежно від способу вирощування, віку і площі живлення розсади, см²/рослину, середнє за 2020-2022 рр.

Спосіб вирощування (А)	Вік, діб (В)	Площа живлення, см² (С)	На період висаджування	Через 60 діб після висаджування
Касетний	60	8	10,15e±0,35	29,56e±0,30
		16	11,64d±0,34	37,14d±0,90
	70	8	12,57c±0,19	59,33b±0,97
		16	14,45ab±0,42	65,06a±2,21
Безкасетний	60	8	12,49cd±0,44	20,12g±0,21
		16 (St.)	13,83*b±0,48	24,41f±0,86
	70	8	14,18b±0,28	38,57d±1,62
		16	15,24a±0,52	49,74c±1,84
Середнє за фактором А		Касетний	12,20B±1,64	47,77A±7,68
		Безкасетний	13,94A±1,09	33,21B±6,09
Середнє за фактором В		60	12,03B±1,43	27,81B±3,29
		70	14,11A±1,06	53,18A±5,26
Середнє за фактором В		8	12,35B±1,51	36,90B±7,51
		16	13,79A±1,44	44,09A±7,81
**CV, %			12	38
НІР ₀₅ /Вплив фактора, %		A	0,28/ 29	1,04/23
		B	0,28/42	1,04/69
		C	0,28/20	1,04/6
		AB	0,4/3	1,48/1
		AC	Fr.>Fφ.	Fr.>Fφ.
		BC		1,47/0,2
		ABC		2,09/1

Примітка: * – різні літери вказують на відмінність між даними за критерієм Тьюкі; ** – коефіцієнт варіювання.

інтенсивний ріст після висаджування у поле притаманний рослинам із касетної розсади віком 70 діб площі живлення 16 см².

Внаслідок швидкого приживання розсади цибулі порей у відкритому ґрунті та подальшого інтенсивного росту формувався високий врожай несправжнього стебла належної товарної якості. Найбільшої маси несправжнє стебло цибулі порей у середньому за роки досліджень одержано за висаджування 70-денної касетної розсади, яку вирощували по одній рослині у чарунці – 242 г/шт. (табл. 3). Незалежно від віку і способу вирощування більше несправжнє стебло формувалося за площі живлення розсади 16 см², а частка впливу фактору С на товарну масу порею складала 62 %. Загущене вирощування касетної і безкасетної розсади знижувало масу несправжнього стебла на 59–61 г і на 67 г, відповідно. Продовження тривалості вирощування роз-

сади із 60 діб до 70 діб забезпечувало приріст маси несправжнього стебла 29 г за касетного способу і 16 г – за безкасетного, але частка впливу фактору В (вік розсади) на даний показник виявилася найменшою – 7 %. Залежно від фактору А (спосіб вирощування) встановлено, що використання касетної розсади забезпечує середній приріст маси товарного стебла на 28 %, порівняно до безкасетної розсади. Нижчою контролю середня маса несправжнього стебла була внаслідок висаджування безкасетної розсади і площі її живлення 8 см² за схемою розміщення у полі 45×15 (2) см – 113–129 г.

За достовірного впливу на масу несправжнього стебла порею взаємодії факторів А×В досліджувані варіанти ранжувалися у такому порядку зростання даного показника: безкасетна 60-денна – 147 г, безкасетна 70-денна – 163 г, касетна 60-денна – 184 г, касетна 70-денна – 212 г.

Таблиця 3

Продуктивність цибулі порей залежно від способу вирощування, віку і площі живлення розсади, середнє за 2020-2022 рр.

Спосіб вирос- тування (А)	Вік, діб (В)	Площа живлення, см² (С)	Маса несправжнього стебла, г/шт.		Врожайність, т/га	
			середня за 2020-22 рр.	± до контролю	середнє за 2020-22 рр.	до контролю
Касетний	60	8	154e±4	-26,0	45,6b±2,5	19,0
		16	213b±7	33,0	31,6ef±1,3	4,9
	70	8	181d±5	1,0	53,6a±2,6	27,0
		16	242a±5	62,0	35,9cd±1,0	9,2
Безкасетний	60	8	113g±3	-67,0	33,5de±0,5	6,8
		16 (St.)	180*d±5	-	26,7g±0,3	-
	70	8	129f±4	-51,0	38,2c±1,6	11,6
		16	196c±9	16,0	29,0fg±0,8	2,4
Середнє за фактором А		Касетний	198A±34	+43	41,7A±9,0	9,8
		Безкасетний	155B±36	-	31,9B±4,6	-
Середнє за фактором В		60	165B±38	-	34,4B±7,3	-
		70	187A±42	22	39,2A±9,4	4,8
Середнє за фактором В		8	144B±27	-64	42,7A±8,1	11,9
		16	208A±24	-	30,8B±3,6	-
**CV, %			23	-	23	-
НІР ₀₅ / Вплив фактора, %		A	4/28		1,1/33	
		B	4/7		1,1/8	
		C	4/62		1,1/49	
		AB	6/1		1,6/1	
		AC	Fт.>Fф.		1,6/5	
		BC			1,6/1	
		ABC			Fт.>Fф.	

Примітка: * – різні літери вказують на відмінність між даними за критерієм Тьюкі; ** – коефіцієнт варіювання.

Оскільки вирощування розсади на площі живлення 8 см² передбачало висаджування її у поле за гніздовою схемою розміщення, різне загущення насаджень суттєво впливає на рівень урожайності цибулі порей. Частка впливу фактору С на врожайність цибулі порей у даному досліді становила 49 %.

Максимальну врожайність формувала цибуля порей із касетної 70-денної і 60-денної розсади за розміщення по дві рослини у чарунці – 53,6 т/га і 45,6 т/га відповідно. Для аналогічного вирощування безкасетної розсади урожай був істотно нижчий – на 12,1–15,4 т/га. У середньому для взаємодії факторів А×С гніздове висаджування касетної розсади забезпечує приріст урожаю на 47 %, а безкасетної – на 29 %, що підтверджує доцільність загущеного вирощування розсади цибулі порей для висаджування її гніздовим способом по дві рослини у лунку. У середньому за фактором А – висаджування касетної розсади цибулі порей сприяє приросту товарної врожайності на 31% у співставленні з безкасетним способом її вирощування, що обумовлено збереженням інтенсивного накопичення асимілянтів впродовж вегетації. Частка впливу фактора А (спосіб вирощування) на врожайність цибулі порей становила 33%. Збільшення тривалості вирощування розсади цибулі порей із 60 діб до 70 діб виявилось більш доцільним для касетного способу, оскільки середній приріст врожаю для взаємодії факторів А×С становив 6,2 т/га, тоді як для безкасетного способу – 3,5 т/га відповідно.

Обговорення

Серед комплексу факторів, що позначаються на врожайності овочевих культур, вік розсади інтерпретується із фізіологічним станом розсади, її адаптивними показниками і подальшим розвитком рослин (Shukla et al., 2013). З віком розсади корелюють інтенсивність накопичення її біомаси, кількість стандартних рослин і виробничі витрати. Оптимальний вік розсади може варіювати залежно від фактичних ґрунтових, екологічних і технологічних чинників. Розсада старшого віку забезпечує вищий ранній врожай, тоді як молодша розсада зазнаватиме меншого стресу під час пересаджування. За висаджування розсади цибулі ріпчастої старшого віку повноцінно використовується ефект початкового розміру та стійкості, тому збільшується врожайність (Bouhan et al., 2009), що також підтверджено в даному досліді для цибулі порей. Аналогічно, впродовж вегетації

більша листкова поверхня була за висаджування 70-денної розсади цибулі порей (Sullieva et al., 2024). Опубліковані дані, що 10-тижнева розсада цибулі ріпчастої перевищує інші рослини за приживанням – 87%, висотою – 43 см і довжиною листків – 62 см на 70 добу вегетації (Choudhary et al., 2016). Обґрунтування полягає в тому, що цибуля, вирощувана зі старшої розсади мала більшу кількість листків і коренів, тому вищу активність фотосинтезу з накопиченням асимілянтів. Це однозначно сприяє ранішому визріванню врожаю більшої маси. Оцінюючи вплив віку розсади, об'єму чарунків і кількості насінин у чарунці на ріст та врожайність цибулі батун встановлено, що 60-денна розсада формувала значно більший урожай, аніж 45-денна (Lee et al., 2002).

Розсада, вирощена в касетах – це ефективна альтернатива традиційним розсадним рослинам із відкритим корінням, але різниця врожайності цибулі ріпчастої з касетної і безкасетної розсади не завжди суттєва (Russo, 2004). Незважаючи на переваги касетної розсади, звертають увагу на «обмеження коріння» у малооб'ємних чарунках. Такі умови настільки пригнічують ріст, що можуть переважати економічні аспекти виробництва (Poorter & Dusschoten, 2012).

Ріст і розвиток розсади можна регулювати розміром і глибиною чарунків, оскільки є пропорційна залежність між їх об'ємом і динамікою росту рослин (Leskovar, 2020). Рослини, вирощені у чарунках великого об'єму, демонструють вищі біометричні параметри, стійкість та вищий продуктивний потенціал внаслідок більшої кількості субстрату, води і поживних речовин і меншої конкуренції за світло. Встановлено, що на кількість листків і надземну масу однорічних рослин цибулі порей і цибулі ріпчастої впливає площа живлення розсади (Khalikov et al. 2024; Weerasinghe & Fordham 1994). Конкуренція на стадії вирощування розсади (від 1 до 6 рослин на чарунку) значно зменшує кількість листків, масу рослин і ці відмінності зберігалися всі наступні фази розвитку в полі (Weerasinghe & Fordham, 1994). Незалежно від тривалості вирощування розсади, найбільший діаметр несправжнього стебла цибулі був у варіанті по одній рослині на чарунку, аніж по три рослини (Leskovar, 2020). Аналогічну закономірність спостерігали і щодо товарної маси цибулі порей у даному дослідженні.

Загущене розміщення рослин цибулі може збільшувати врожайність лише за сприят-

ливих навколишніх умов (Slobodianyk et al., 2025). Збільшення щільності розсади цибулі ріпчастої з однієї до три рослини на чарунку знижувало масу цибулин на 13%, а товарну врожайність – на 6% (Leskovar et al., 2004). Але, оскільки загальна врожайність за різної щільності касетної розсади статистично не відрізнялася, найкращими для отримання цільової категорії якості цибулі рекомендовано висівати по дві і три насінини на чарунку. Визначаючи відповідний спосіб, вік і площу живлення розсади для різних культур потрібно враховувати і морфо-фізіологічну якість розсади, і економічні аспекти комерційного виробництва

Висновки

Добір оптимальної площі живлення і віку розсади цибулі порей є важливим фактором динаміки росту рослин залежно від способу її вирощування і впливає на ростові процеси після пересаджування у поле. Завдяки швидкому відновленню і приживанню у польових умовах овочеві рослини із касетної розсади формують вищий врожай. Удосконалення технології вирощування розсади цибулі порей можливе за рахунок оптимального співвідношення площі живлення і віку розсади на фоні одержання більшої її кількості.

Досліджуючи касетний спосіб вирощування розсади цибулі порей встановлено доцільність сівби у чарунку касети по дві насінини (площа живлення 8 см²) з тривалістю розсадного періоду від появи сходів до

висаджування 70 діб. Такий спосіб вирощування сприяє формуванню розвиненої кореневої системи, маса якої становила 40 % від загальної маси розсади, а листкова поверхня достатня для асиміляції пересаджуваних у поле рослин. Загальна маса і асиміляційна поверхня найвищі були у розсади за площі її живлення 16 см², але виробничі витрати також зростали, зважаючи на меншу кількість розсади з 1 м². За показниками приросту листкової поверхні після висаджування і товарної маси цибуля порей із безкасетної розсади поступалися насадженням із касетних рослин на 31 % і 28 % відповідно. Незалежно від площі живлення, найбільший товарний врожай формувалася із 70-денної розсади – 39,2 т/га у середньому по досліді, що на 12 % більше, порівняно до показників 60-денної розсади.

За комплексом досліджуваних умов найбільш ефективним виявилось використання 70-денної касетної розсади площі живлення 8 см², де одержано врожай цибулі порей 53,6 т/га. Результати дослідження можуть бути використані для удосконалення технології вирощування цибулі порей та підвищення ефективності виробництва. Актуальним завданням подальших досліджень є уточнення біологічних і фізіологічних процесів адаптації розсади цибулі порей до умов відкритого ґрунту та розробка ефективних екологічно-безпечних заходів вирощування.

Список використаної літератури

- Бондаренко Г.А., Яковенко К.І. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві. Харків : Основа, 2001. 369 с.
- Лихацький В.І. Розробка і удосконалення технології вирощування овочів у Правобережному Лісостепу України. *Вісник УДАУ*. 2004. №1–2. С. 46–51.
- Рудь В.П., Могиляна О.М., Терохіна Л.А., Ільїнова Є.М. Світовий огляд ринку цибулі та перспективи виробництва в Україні. *Овочівництво і баштанництво*. 2023. № 73. С. 97–105. <https://doi.org/10.32717/0131-0062-2023-73-97-105>.
- Улянич О.І., Слободяник Г.Я., Тернавський А.Г., Войцехівський В.І. Ефективність розсадного і безрозсадного способів вирощування цибулі порей в умовах правобережного Лісостепу України. *Збірник наук. праць УНУС*. 2016. Вип. 88, ч. 1. С. 46–53.
- Чередніченко О.О., Чайка Є.А. Економічні аспекти виробництва овочів в Україні. *Економіка і управління бізнесом*. 2022. №1 3(3). С. 87–97. [https://doi.org/10.31548/economics13\(3\).2022.74-83](https://doi.org/10.31548/economics13(3).2022.74-83).
- Яценко Н.В., Ващенко О.В. Обґрунтування строків висаджування розсади для конвеєрного надходження плодів кавуна звичайного в Правобережному Лісостепу України. *Таврійський науковий вісник*. 2025. Вип. № 143, ч. 2. С. 203–210. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.2.22>.
- Boyhan G.E., Torrance R.L., Cook J., Riner C., Hill C.R. Plant population, transplant size, and variety effect on transplanted short-day onion production. *HortTechnology*. 2009. Volume 19, Issue 1. P. 145–151. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.19.1.145>.
- Choudhary D., Kumar S., Samnotra R. Effect of seedling age and plant hormones on growth and bulb yield of onion (*Allium cepa* L.). *The Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2016. Vol. 86. P. 906–909. <https://doi.org/10.56093/ijas.v86i7.59778>.

- Gallegos-Cedillo V.M., Nájera C., Ochoa J., Gallegos J., Signore A., Egea-Gilabert C., Fernández J.A. Analysis of global research on vegetable seedlings and transplants and their impacts on product quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2024. Vol. 104 (12). P. 4950–4965. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13309>.
- Khalikov B., Mukhamatjanova R., Sullieva S., Zokirov K., Nishonova A. Effect of planting time and seedling feeding area on leek (*Allium porrum* L.) plant biometric parameters. *BIO Web of Conferences*. 2024. No 149. Article 01037. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202414901037>.
- Lee J.-S., Shi Y.-A., Seon K.-C., U, Y.-C., Yu B.-C. Effect of plug cell size, seedling age, standing number and transplanted depth in a level low on the growth and yield of Welsh onion (*Allium fistulosum* L.). *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*. 2002. Vol. 20 (1). P. 1–7.
- Leskovar D.I. Transplanting. In H. C. Wien & H. Stützel (Eds.). *The physiology of vegetable crops* (2nd ed.). CABI. 2020. P. 31–60.
- Leskovar D., Cantamutto M., Marinangelli P., Gaido E. Comparison of direct-seeded, bareroot, and various tray seedling densities on growth dynamics and yield of long-day onion. *Agronomie*. 2004. Vol. 24. P. 35–40. <https://doi.org/10.1051/agro:2003059>.
- Minami K. High quality of seedling in vegetable production. *Acta Horticulturae*. 2003. Vol. 607. P. 63–66. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.607.9>.
- Poorter H., van Dusschoten D. Pot size matters: A meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Functional Plant Biology*. 2012. Vol. 39 (11). P. 839–850. <https://doi.org/10.1071/FP12049>.
- Russo V.M. Greenhouse-grown transplants as an alternative to bare-root transplants for onion. *HortScience*. 2004. Vol. 39. P. 1267–1271. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.6.1267/>
- Shukla Y., Chhopal T., Sharma R. Effect of age of transplants on fruit and seed yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *J. Hortic. Sci.* 2013. Vol. 8. P. 99–102. <https://doi.org/10.24154/jhs.v8i1.347>.
- Slobodanyk, H., Oliinyk, O., Kovtuniuk, Z., Ternavskiy, A., Zhilyak, I., Voitsekhivskiy, V., Voitsekhivska, O. Productivity of Leek Hybrids Depending on Planting Schemes and Etiolation Methods. *Journal of Horticultural Research*. 2025. Vol. 33 (2). P. 101–114. <https://doi.org/10.2478/johr-2025-0020>.
- Sullieva S., Zokirov K., Nishonov N., Atamuratova N., Abdullayev B. Effect of planting time and seedling feeding area on the yield and biochemical composition of leek (*Allium porrum* L.). *BIO Web of Conferences*. 2024. No 93. Article 02006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20249302006>.
- Weerasinghe S.S., Fordham R. The effects of plant density on onions established from multiseeded transplants. *Acta Horticulturae*. 1994. Vol. 371. P. 97–104. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.371.11>.

References

- Bondarenko, H.L., & Yakovenko, K.I. (2001). *Metodyka doslidnoi spravy v ovochivnytstvi i bashtannytstvi* [Methods of research in vegetable growing and melon growing]. Kharkiv: Osnova, 369 p. [in Ukrainian].
- Cherednichenko, O.O., & Chaika, Ye.A. (2022). Ekonomichni aspekty vyrobnytstva ovochiv v Ukraini [Economic aspects of vegetable production in Ukraine]. *Ekonomika i Upravlinnia Biznesom* [Economics and Business Management], 13(3), 87–97. [https://doi.org/10.31548/economics13\(3\).2022.74-83](https://doi.org/10.31548/economics13(3).2022.74-83) [in Ukrainian].
- Lykhatskyi, V.I. (2004). Rozrobka i udoskonalennia tekhnolohii vyroshchuvannia ovochiv u Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy. [Development and improvement of vegetable growing technology in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk UDAU* [Bulletin of the UDAU], 1–2, 46–51 [in Ukrainian].
- Rud, V.P., Mohylina, O.M., Terokhina, L.A., & Il'inova, Ye.M. (2023). Svitovyi ohliad rynku tsybuli ta perspektyvy vyrobnytstva v Ukraini [Global onion market overview and production prospects in Ukraine]. *Ovochivnytstvo i Bashtannytstvo* [Vegetable and melon growing], 73, 97–105. <https://doi.org/10.32717/0131-0062-2023-73-97-105> [in Ukrainian].
- Ulianych, O.I., Slobodanyk, H.Ya., Ternavskiy, A.H., & Voitsekhivskiy, V.I. (2016). Efektyvnist rozsadnoho i bezrozsadnoho sposobiv vyroshchuvannia tsybuli porei v umovakh pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [The effectiveness of seedling and non-seedling methods of growing leeks in the conditions of the right-bank forest-steppe of Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats UNUS* [Collection of scientific works UNUS]. 88(1), 46–53 [in Ukrainian].

- Yatsenko, N.V., & Vashchenko, O.V. (2025). Obgruntuvannia strokiv vysadzhuvannia rozsady dlia konveiernoho nadkhodzhennia plodiv kavuna zvychainoho v Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Preparation of planting strips for the conveyor belt of watermelon crops common in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine.]. *Tavriiskyi Naukovyi Visnyk [Tavria Scientific Bulletin]*, 143 (2), 203–210. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.2.22> [in Ukrainian].
- Boyhan, G., Torrance, R., Cook, J., Riner, C., & Hill, C. (2009). Plant population, transplant size, and variety effect on transplanted short-day onion production. *HortTechnology*, 19 (1), 145–151. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.19.1.145> [in English].
- Choudhary, D., Kumar, S., & Samnotra, R. (2016). Effect of seedling age and plant hormones on growth and bulb yield of onion (*Allium cepa* L.). *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 86, 906–909. <https://doi.org/10.56093/ijas.v86i7.59778> [in English].
- Gallegos-Cedillo, V.M., Nájera, C., Ochoa, J., Gallegos, J., Signore, A., Egea-Gilabert, C., & Fernández, J.A. (2024). Analysis of global research on vegetable seedlings and transplants and their impacts on product quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104 (12), 4950–4965. and *Agriculture*. 2024. Vol. 104 (12). P. 4950–4965. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13309> [in English].
- Khalikov, B., Mukhamatzanova, R., Sullieva, S., Zokirov, K., & Nishonova, A. (2024). Effect of planting time and seedling feeding area on leek (*Allium porrum* L.) plant biometric parameters. *BIO Web of Conferences*, 149, Article 01037. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202414901037> [in English].
- Lee, J.-S., Shin, Y.-A., Seong, K.-C., Um, Y.-C., & Yu, B.-C. (2002). Effect of plug cell size, seedling age, standing number and transplanted depth in a level low on the growth and yield of Welsh onion (*Allium fistulosum* L.). *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 20 (1), 1–7 [in English].
- Leskovar, D.I. (2020). Transplanting. In H. C. Wien & H. Stützel (Eds.), *The physiology of vegetable crops* (2nd ed., pp. 31–60). CABI [in English].
- Leskovar, D., Cantamutto M., Marinangelli P., & Gaido E. (2004). Comparison of direct-seeded, bareroot, and various tray seedling densities on growth dynamics and yield of long-day onion. *Agronomie*, 24, 35–40. <https://doi.org/10.1051/agro:2003059>. [in English].
- Minami, K. (2003). High quality of seedling in vegetable production. *Acta Horticulturae*, 607, 63–66. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.607.9> [in English].
- Poorter, H., & van Dusschoten, D. (2012). Pot size matters: A meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Functional Plant Biology*, 39(11), 839–850. <https://doi.org/10.1071/FP12049> [in English].
- Russo, V.M. 2004. Greenhouse-grown transplants as an alternative to bare-root transplants for onion. *HortScience*, 39, 1267–1271 <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.6.1267> [in English].
- Shukla, Y., Chhopal, T., & Sharma, R. (2013). Effect of age of transplants on fruit and seed yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Horticultural Science*, 8, 99–102. <https://doi.org/10.24154/jhs.v8i1.347> [in English].
- Slobodanyk, H., Oliinyk, O., Kovtuniuk, Z., Ternavskiy, A., Zhilyak, I., Voitsekhivskiy, V., & Voitsekhivska, O. (2025). Productivity of leek hybrids depending on planting schemes and etiolation methods. *Journal of Horticultural Research*, 33 (2), 101–114. <https://doi.org/10.2478/johr-2025-0020> [in English].
- Sullieva, S., Zokirov, K., Nishonov, N., Atamuratova, N., & Abdullayev, B. (2024). Effect of planting time and seedling feeding area on the yield and biochemical composition of leek (*Allium porrum* L.). *BIO Web of Conferences*, 93, Article 02006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20249302006> [in English].
- Weerasinghe, S., & Fordham, R. (1994). The effects of plant density on onions established from multiseeded transplants. *Acta Horticulturae*, 371, 97–104. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.371.11> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 20.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 13.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 16
Український журнал природничих наук
№ 16

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 633.16:631.524.84

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.27>

ВПЛИВ СОРТУ ТА БІОПРЕПАРАТУ НА ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО

С. М. Шакалій¹, А. В. Баган²

Потреба в ресурсозбереженні та стабілізації врожайності зерна зумовлює доцільність використання біопрепаратів у технології вирощування ячменю ярого як складової адаптивного землеробства в умовах Лісостепу України. Метою досліджень було встановити ефективність застосування різних біопрепаратів на сортах ячменю ярого та визначити їхній вплив на формування елементів продуктивності й варіацію врожайності в умовах конкретного господарства. Польові дослідження проводили у 2023 – 2025 рр. на чорноземі типовому малогумусному в умовах фермерського господарства «Назарівське» Полтавської області, лабораторні – у лабораторії якості зерна Полтавського державного аграрного університету. Дослід був двофакторним: Фактор А – сорт: Святогор, Командор, Вінницький 29. Фактор В – біопрепарат: без обробки (контроль), Мікрогумін, Азотофіт. Сівбу проводили в оптимальні строки з нормою висіву 220 кг/га, ширина міжрядь – 15 см. Догляд за посівами відповідав зональним рекомендаціям для умов Лісостепу. Дослідження охоплювали комплекс польових, лабораторних і статистичних методів. Польові дослідження закладали за методикою польового дослідництва із дотриманням сівозміни, повторності та рандомізованого розміщення варіантів. Обліковували густоту стояння рослин для подальшого визначення показників структури врожаю. Проводили вимірювання біометричних показників (довжину колоса і масу) та визначали елементи структури врожаю (кількість зерен з колоса, масу зерна з колоса). У лабораторних умовах здійснювали визначення фізичних показників зерна: визначали масу 1000 зерен, натуру зерна. У 2025 році врожайність сортів ячменю ярого була найвищою за роки досліджень, що зумовлено як сприятливими погодно-кліматичними умовами, так і застосуванням біопрепаратів. Сорти Святогор і Вінницький 29 за використання препарату Азотофіт забезпечили врожайність 4,11 т/га. Найвищу врожайність – 4,20 т/га – отримано у сорту Командор за застосування біопрепарату Мікрогумін. Отримані результати свідчать про доцільність диференційованого підходу до використання біопрепаратів залежно від сортових особливостей ячменю ярого, що сприяє підвищенню врожайності та стабілізації виробництва зерна в умовах Лісостепу України.

Ключові слова: ячмінь, сорт, біопрепарати, маса 1000 зерен, натура, вміст білка, врожайність.

¹ кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри рослинництва
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: svitlana.shakaliy@pdau.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4568-1386

² кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри селекції, насінництва і генетики
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: alla.bagan@pdau.edu.ua
ORCID: 0000-0001-8851-5081

INFLUENCE OF VARIETY AND BIOPRODUCTION ON THE FORMATION OF PRODUCTIVE POTENTIAL OF SPRING BARLEY

S. M. Shakalii, A. V. Bahan

The need for resource conservation and stabilization of grain yield determines the feasibility of using biological products in the technology of growing spring barley as a component of adaptive agriculture in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine. The purpose of the research was to establish the effectiveness of the use of various biological products on spring barley varieties and determine their impact on the formation of productivity elements and yield variation in the conditions of a specific farm. Field studies were conducted in 2023 – 2025 on typical low-humus black soil in the conditions of the farm "Nazariivske" of the Poltava region, laboratory studies were conducted in the grain quality laboratory of the Poltava State Agrarian University. The experiment was two-factorial: Factor A - variety: Svyatogor, Commander, Vinnytskyi 29. Factor B - biological product: without treatment (control), Mikrohummin, Azotophyte. Sowing was carried out at the optimal time with a seeding rate of 220 kg ha⁻¹, row spacing - 15 cm. Crop care corresponded to zonal recommendations for the conditions of the Forest-Steppe. The research covered a complex of field, laboratory and statistical methods. Field experiments were laid according to the field research methodology with observance of crop rotation, repetition and randomized placement of variants. The density of plant stands was taken into account for further determination of yield structure indicators. Biometric indicators (ear length and weight) were measured and elements of yield structure (number of grains per ear, weight of grain per ear) were determined. In laboratory conditions, physical grain indicators were determined: the weight of 1000 grains, grain type. In 2025, the yield of spring barley varieties was the highest over the years of research, which was due to both favorable weather and climatic conditions and the use of biological products. The varieties Svyatogor and Vinnytskyi 29, using the drug Bactolive, provided a yield of 4.11 t ha⁻¹. The highest yield – 4.20 t ha⁻¹ – was obtained from the variety Commander using the biological product Mikrohummin. The results obtained indicate the feasibility of a differentiated approach to the use of biological products depending on the varietal characteristics of spring barley, which contributes to increasing yields and stabilizing grain production in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine.

Key words: barley, variety, biological products, 1000-grain weight, nature, protein content, productivity.

Вступ

Ячмінь ярий – культура з високою пластичністю, однак рівень реалізації його продуктивного потенціалу значною мірою залежить від сортових особливостей і застосування біопрепаратів. Актуальним завданням сучасного землеробства є підвищення його врожайності при одночасному скороченні ресурсних витрат (Гангур та ін., 2021; Баган та ін., 2023).

Ця культура вирізняється високою адаптивністю до різних ґрунтово-кліматичних умов, коротким вегетаційним періодом і стійкістю до посухи, що дозволяє отримувати стабільні врожаї навіть у зонах ризикованого землеробства. Завдяки цим властивостям ячмінь є важливим резервом продовольчої безпеки країни (Гавриляк і Дідковська, 2008; Касаткіна і Гамаюнова, 2018).

Сорт є одним із головних факторів формування врожайності та якості зерна. Його вплив проявляється через: генетичний потенціал урожайності – високопродуктивні сорти формують більшу кількість продуктивних стебел, зерен у колосі та вищу масу 1000 зерен. Адаптивність до умов вирощування – стійкість до посухи, перезволоження, темпе-

ратурних стресів. Стійкість до хвороб – зменшення втрат урожаю без додаткових витрат на захист. Якість зерна – вміст протеїну, крохмалю, натура зерна (Чайковська, 2011).

Сорти з високим потенціалом продуктивності за сприятливих умов здатні забезпечувати значно більшу врожайність, однак потребують кращого агрофону для повної реалізації своїх можливостей.

Біопрепарати (на основі бактерій, грибів, біологічно активних речовин) позитивно впливають на ріст і розвиток рослин через: стимуляцію розвитку кореневої системи; покращення засвоєння елементів живлення; фіксацію атмосферного азоту; мобілізацію фосфору і калію з ґрунту; підвищення стійкості до стресових умов; пригнічення розвитку збудників хвороб (Бігуляк, 2013; Остапчук та ін., 2015).

Найбільший ефект досягається при правильному поєднанні сорту та біопрепарату: високопродуктивні сорти краще реагують на біостимуляцію, реалізуючи свій генетичний потенціал. Менш інтенсивні сорти отримують стабілізуючий ефект – підвищується стійкість до стресів і вирівнюється врожайність за несприятливих умов. У роки

з достатнім зволоженням приріст урожайності від біопрепаратів зазвичай більший.

У посушливі роки біопрепарати сприяють зменшенню негативного впливу абіотичних стресів. Використання біопрепаратів у комплексі з оптимальною агротехнікою сприяє отриманню високоякісного зерна з одночасним збереженням родючості ґрунтів (Волкогон, 2009; Шакалій та ін., 2020).

Підвищення потенціалу врожайності залишається ключовим завданням селекційних програм. Сучасні сорти повинні бути не лише високоврожайними, а й стійкими до несприятливих умов, високоадаптованими та високогомеостатичними (Гамаюнова і Дворецький, 2016; Шакалій та ін., 2025).

Метою дослідження є оцінка впливу біопрепаратів на формування продуктивного потенціалу сортів ячменю ярого у виробничих умовах господарства. Наукова новизна полягає у порівнянні ефективності сучасних біопрепаратів на різних сортах ячменю та їх впливу на формування продуктивного потенціалу.

Матеріал і методи

Дослідження проводили упродовж 2023–2025 рр. в ФГ «Назарівське», що знаходиться в Лубенському районі Полтавської області. Технологія вирощування ячменю ярого в досліді передбачала використання загальноприйнятих для ґрунтово-кліматичної зони агротехнічних заходів та прийомів.

Ґрунт дослідної ділянки – темно-сірий опідзолений малогумусний важко суглинковий формуються на лесах і лесоподібних суглинках у результаті поєднання дернового та опідзолювального процесів.

Ґрунтовий профіль: Н (гумусовий горизонт) – темно-сірий, добре структурований, потужність 20–35 см, материнська порода – лес або лесоподібний суглинок. Відзначаються добрими водоутримувальними властивостями, але можуть ущільнюватися за інтенсивного обробітку. Вміст гумусу – 2,5–4,0 %. Реакція ґрунтового розчину (рН) – слабокисла (5,2–6,0). Забезпеченість азотом – середня. Ємність вбирання – 20–30 ммоль(+)/100 г ґрунту.

Клімат зони помірно-континентальний із нестійким зволоженням, холодною зимою та жарким, часто посушливим літом. Середньобіогорічна температура повітря – 7,7 °С, сума опадів – 508 мм; у вегетаційний період середні значення становили 19,1 °С та 214,5 мм опадів. Погодні умови під час досліджень відрізнялися від багаторічних норм.

Дослід проводили за двофакторною схемою. Фактор А – сорт: Святогор (Полтавська ДСГДС ім. М.І. Вавилова, м. Полтава), Командор (Селекційно – генетичний інститут), Вінницький 29 (Інститут кормів та сільськогосподарства Поділля НААН). Фактор В – біопрепарати: без обробки (контроль), Мікрогумін, Азотофіт.

Ділянки розміщувалися систематично в один ярус, повторність досліду – тричі. Загальна площа ділянки – 25 м² (6,25×4), облікова – 20 м² (5×4). Польові дослідження виконували в умовах господарства, лабораторні – у лабораторії якості зерна Полтавський державний аграрний університет.

Результати та їх обговорення

Сорти з високим потенціалом продуктивності найбільш ефективно реагують на внесення біопрепаратів, повніше реалізуючи свій генетичний потенціал. Менш продуктивні сорти також отримують позитивний ефект, який проявляється у покращенні розвитку кореневої системи, підвищенні стійкості до абіотичних і біотичних стресів та стабілізації врожайності. Ефективність застосування біопрепаратів значною мірою залежить від сортових особливостей, типу ґрунту та кліматичних умов вирощування (Василенко та ін., 2018; Мамедова, 2018).

Дослідження показали, що застосування біопрепаратів Мікрогумін і Азотофіт позитивно вплинуло на всі елементи структури врожаю сортів ярого ячменю.

Довжина колоса у сорту Святогор збільшення становило: Мікрогумін – +0,6 см (8,8 %), Азотофіт – +0,8 см (11,8 %). У сорту Командор: Мікрогумін – +1,1 см (15,7 %), Азотофіт – +1,0 см (14,3 %) (табл. 1).

У сорту Вінницький 29: Мікрогумін – +0,8 см (11,3 %), Азотофіт – +0,9 см (12,7 %). Найбільше подовження колоса спостерігалось у сорту Командор за застосування Мікрогуміну. В усіх сортів відмічено збільшення озерненості: Святогор: +0,5–0,9 шт. (4,0–7,1 %), Командор: +0,8–1,0 шт. (6,1–7,6 %), Вінницький 29: +0,7–0,8 шт. (5,3–6,1 %).

Найвищий показник (14,2 зернини) сформував сорт Командор при застосуванні Мікрогуміну.

Найбільш суттєві зміни відмічено саме за цим показником: Святогор: Мікрогумін – +0,03 г (5,6 %), Азотофіт – +0,05 г (9,3 %), Командор: Мікрогумін – +0,12 г (21,4 %), Азотофіт – +0,10 г (17,9 %), Вінницький 29: Мікрогумін – +0,03 г (5,0 %), Азотофіт – +0,06 г (10,0 %).

Найбільший приріст маси зерна з колоса забезпечив біопрепарат Мікрогумін у сорту Командор.

Середні показники по сортах (усі варіанти): Командор – має найвищі середні значення довжини колоса, кількості зерен та маси зерна з колоса. Вінницький 29 – займає проміжне положення. Святогор – дещо поступається за елементами структури врожаю.

Найвищу відносну прибавку (особливо за масою зерна з колоса) показав сорт Командор: приріст маси зерна з колоса до +21 % (Мікрогумін). Усі біопрепарати сприяли покращенню елементів структури врожаю.

Найбільш чутливим до біостимуляції виявився сорт Командор, у якого зафіксовано максимальні прирости довжини колоса, кількості зерен та маси зерна з колоса. Азотофіт забезпечував стабільний позитивний ефект у всіх сортів, тоді як Мікрогумін у ряді випадків формував дещо вищі показники.

Покращення структури врожаю є передумовою підвищення загальної продуктивності посівів ярого ячменю. Біологічні препарати загалом позитивно впливають на формування врожайного потенціалу ярого ячменю, сприяючи підвищенню продуктивності рослин, збільшенню маси зерна та стабільності врожаю. Вони є ефективним інструментом реалізації сортового потенціалу та підвищення економічної ефективності виробництва (Яценко, 2015).

Маса 1000 зерен: Сорт Святогор на контролі склав 41,9 г, за використання Мікрогуміна – 46,8 г (+4,9 г; +11,7 %), Азотофіт – 46,7 г (+4,8 г; +11,5 %). Найбільший приріст сформовано у 2025 році (до 50,1 г за Азотофіту). Сорт Командор: контроль – 43,2 г, Мікрогумін – 46,5 г (+3,3 г; +7,6 %), Азотофіт – 46,8 г (+3,6 г; +8,3 %). Максимальний показник – 50,4 г

(Мікрогумін, 2025 р.). Сорт Вінницький 29 - контроль – 43,5 г, Мікрогумін – 47,0 г (+3,5 г; +8,0 %), Азотофіт – 46,2 г (+2,7 г; +6,2 %). Найбільше значення – 48,9 г (Мікрогумін, 2025 р.).

Усі біопрепарати достовірно підвищували масу 1000 зерен. Найбільшу реакцію проявив сорт Святогор. Найвищі абсолютні значення сформувалися у 2025 році. Мікрогумін і Азотофіт діяли практично рівноцінно, з незначною перевагою окремо по сортах (табл. 2).

На відміну від маси 1000 зерен, біопрепарати не підвищували, а дещо знижували показник натури зерна порівняно з контролем.

Зниження натури зерна може бути пов'язане з: збільшенням крупності зерна; більш пухкою структурою ендосперму; погодними умовами років (особливо 2025 р.).

Часто спостерігається закономірність: зі зростанням маси 1000 зерен натура може дещо знижуватись.

Біопрепарати істотно підвищили масу 1000 зерен у всіх сортів (на 6–12 %). Найбільш стабільно реагував сорт Вінницький 29. Показник натури зерна був найвищим у варіантах контролю.

2025 рік виявився найбільш сприятливим для формування крупного зерна.

Застосування біопрепаратів більше впливає на крупність зерна, ніж на його щільність.

Приріст урожайності від біопрепаратів (до контролю) склав по сорту Святогор: Мікрогумін: +0,37 т/га (+10,8 %), Азотофіт: +0,43 т/га (+12,5 %); Командор – за використання Мікрогуміну: +0,47 т/га (+13,4 %), Азотофіт: +0,42 т/га (+12,0 %); по сорту Вінницький 29 – Мікрогумін: +0,45 т/га (+13,1 %), Азотофіт: +0,45 т/га (+13,1 %) (табл. 3).

Таблиця 1

Структура врожаю сортів ярого ячменю залежно від біопрепаратів

Сорт	Біопрепарати	Довжина колоса, см	Кількість зерен в колосі, шт.	Маса зерен з колоса, г
Святогор	Контроль	6,8	12,6	0,54
	Мікрогумін	7,4	13,1	0,57
	Азотофіт	7,6	13,5	0,59
Командор	Контроль	7,0	13,2	0,56
	Мікрогумін	8,1	14,2	0,68
	Азотофіт	8,0	14,0	0,66
Вінницький 29	Контроль	7,1	13,2	0,60
	Мікрогумін	7,9	13,9	0,63
	Азотофіт	8,0	14,0	0,66

По роках становила врожайність: 2024 рік – найменша урожайність (3,30 – 3,71 т/га на контролі). 2025 рік – найвищі показники (до 4,20 т/га). Біопрепарати проявили найбільший ефект у сприятливі роки (2025 р.).

Згідно наданих даних: $НІР_{05}$ для фактору А (сорт) $\approx 0,1-0,2$ т/га. $НІР_{05}$ для фактору В (біопрепарат) $\approx 0,1-0,2$ т/га. $НІР_{05}$ для взаємодії АВ $\approx 0,1-0,2$ т/га.

Оскільки фактичні прирости становлять 0,37–0,47 т/га, що значно перевищує $НІР_{05}$ (0,2 т/га), можна зробити висновок: усі прибавки врожайності є статистично достовірними. Найвищу середню урожайність сформував сорт Командор (3,97 т/га за Мікрогуміну).

Найбільший приріст урожайності забезпечив Мікрогумін у сорту Командор (+0,47 т/га). Азотофіт показав стабільну ефективність у всіх сортів. Взаємодія «сорт $\times$ біопрепарат» є істотною. 2025 рік був найбільш сприятливим для реалізації потенціалу сортів.

Висновки

Встановлено, що рівень урожайності значною мірою залежав від сортових особливостей. Сорти з високим генетичним потенціалом формували більшу кількість продуктивних стебел та зерен у колосі, що забезпечувало підвищення врожайності. Застосування біопрепаратів сприяло: покращенню розвитку кореневої системи; підвищенню коефіцієнта кущення; збільшенню маси 1000 зерен; покращенню

Таблиця 2

Вплив біопрепаратів на масу 1000 зерен сортів ячменю ярого, г

Сорт	Біопрепарати	2023 р.	2024 р.	2025 р.	Середнє
Маса 1000 зерен, г					
Святогор	Контроль	42,4	41,4	42,0	41,9
	Мікрогумін	47,1	45,1	48,3	46,8
	Азотофіт	46,0	44,0	50,1	46,7
Командор	Контроль	42,0	43,5	44,0	43,2
	Мікрогумін	45,0	44,0	50,4	46,5
	Азотофіт	45,5	45,1	49,9	46,8
Вінницький 29	Контроль	43,6	43,0	44,0	43,5
	Мікрогумін	47,0	45,1	48,9	47,0
	Азотофіт	46,4	44,2	48,0	46,2
Натура зерна, г/л					
Святогор	Контроль	660	671	650	660
	Мікрогумін	650	648	630	642
	Азотофіт	635	640	635	636
Командор	Контроль	650	665	650	653
	Мікрогумін	640	638	640	639
	Азотофіт	640	650	635	642
Вінницький 29	Контроль	660	688	645	664
	Мікрогумін	630	650	630	636
	Азотофіт	630	639	630	633

Таблиця 3

Вплив біопрепаратів на урожайність сортів ячменю ярого, т/га

Сорт	Біопрепарати	2023 р.	2024 р.	2025 р.	Середнє
Святогор	Контроль	3,47	3,30	3,50	3,43
	Мікрогумін	3,92	3,50	3,98	3,80
	Азотофіт	4,02	3,49	4,11	3,86
Командор	Контроль	3,45	3,55	3,47	3,50
	Мікрогумін	4,01	3,71	4,20	3,97
	Азотофіт	3,97	3,67	4,10	3,92
Вінницький 29	Контроль	3,38	3,41	3,52	3,44
	Мікрогумін	3,98	3,68	4,02	3,89
	Азотофіт	3,86	3,70	4,11	3,89
$НІР_{05}$ А		0,2	0,1	0,2	
В		0,1	0,2	0,2	
АВ		0,2	0,2	0,1	

натури зерна; зростанню вмісту протеїну. Найбільший приріст урожайності відзначено у високопродуктивних сортів, що свідчить про їхню високу реакцію на біологічну стимуляцію. У менш інтенсивних сортів біопрепарати забезпечували стабілізацію врожаю за стресових умов вирощування. Сорт є базовим фактором формування урожайності та якості зерна ячменю ярого.

Біопрепарати позитивно впливають на ріст і розвиток рослин, підвищуючи врожайність на 5–15 % залежно від умов року та сорту. Найбільший ефект досягається при поєднанні високопродуктивних сортів із біологічними препаратами. Використання біопрепаратів сприяє підвищенню екологічної та економічної ефективності технології вирощування ячменю ярого.

Список використаної літератури

- Баган А. В., Шакалій С. М., Шафорост Л. Ю., Омелич М. В. Ефективність застосування біопрепарату Альбіт для підвищення продуктивності сортів ячменю ярого. *Аграрні інновації*. 2023. № 21. С. 7–11. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.21.1>
- Бігуляк С. П. Формування посівів ярого ячменю за параметрами кількості рослин залежно від впливу технологічних факторів. *Новітні агротехнології*. 2013. № 1 (1). С. 18–26.
- Василенко М. Г., Стадник А. П., Душко П. М., Драга М. В., Кічігіна О. О., Зацарінна Ю. О. Урожайність і якість насіння сільськогосподарських культур за дії регуляторів росту рослин. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 1. С. 96–101. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2018.161350>
- Волкогон К. І. Агроекологічне обґрунтування застосування біологічного препарату мікрогуміну при вирощуванні ячменю ярого: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.16. Умань, 2009. 20 с.
- Гаврилюк В. А., Дідковська Т. П. Ефективність використання нових видів мікробіологічних препаратів і стимуляторів росту. *Вісник ХНАУ*. 2008. № 4. С. 49–52.
- Гамаюнова В. В., Дворецький В. Ф. Підвищення продуктивності ярих зернових культур шляхом оптимізації живлення рослин в умовах Степу України. *Вісник ЖНАЕУ*. 2016. №1 (53). Т. 1. С. 74–80.
- Гангур В. В., Лень О. І., Гангур М. В. Вплив мінімалізації обробітку ґрунту на вологозабезпечення та продуктивність ячменю ярого в зоні Лівобережного Лісостепу України. *Вісник ПДАА*. 2021. № 1. С. 128–134 <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.15>
- Касаткіна Т. О., Гамаюнова В. В. Перспективи та особливості вирощування ячменю ярого на Півдні України. *Наукові горизонти*. Житомир, 2018. №7-8 (70). С. 131–138.
- Мамедова Е. І. Вплив агротехнологічних заходів вирощування на формування надземної маси рослин ячменю ярого в умовах Північного Степу України. *Зернові культури*. Дніпро, 2018. Т. 2. № 1. С. 61–66.
- Остапчук М. О., Поліщук І. С., Мазур О. В., Максимов А. М. Використання біопрепаратів – перспективний напрямок вдосконалення агротехнологій. *Сільське господарство та лісівництво*. 2015. № 2. С. 5–17. https://doi.org/nbuv.gov.ua/UJRN/agf_2015_2_3
- Шакалій С.М., Баган А.В., Єщенко В.М., Сенчук Т.Ю. Ефективність елементів біологізації технології вирощування пшениці озимої в Лісостеповій зоні України. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 112. С. 174–180 <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.112.25>
- Шакалій С. М., Шендецький О. О., Пліщенко В. О. Вплив попередників та стимуляторів росту на урожайність та якість сортів озимої пшениці. *Таврійський науковий вісник*. Одеса: 2025. № 144. С. 243–249 <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.144.31>
- Чайковська Л.О. Ефективність поєданого використання біопрепаратів на основі фосфатомобілізувальних бактерій та мінеральних добрив при вирощуванні зернових на півдні України. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2011. Вип. 13. С. 52–58
- Ященко Л.А. Продуктивність ячменю ярого за використання препарату поліміксобактерин. *Молодий вчений*. 2015. № 7 (22). Ч. 1. С. 30–32.

References

- Bahan, A.V., Shakalii, S.M., Shaforost, L.Yu. & Omelych, M.V. (2023). Efektyvnist zastosuvannia biopreparatu Albit dlia pidvyshchennia produktyvnosti sortiv yachmeniu yaroho [Effectiveness of using the biological product Albit to increase the productivity of spring barley varieties]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian Innovations]*, 21, 7–11. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.21.1> [in Ukrainian].

Bihuliak, S.P. (2013). Formuvannia posiviv yarocho yachmeniu za parametramy kilkosti roslyn zalezno vid vplyvu tekhnologichnykh faktoriv [Formation of spring barley crops according to the parameters of the number of plants depending on the influence of technological factors]. *Novitni ahrotekhnologii [Latest agricultural technologies]*, 1 (1), 18–26 [in Ukrainian].

Vasylenko, M.H., Stadnyk, A.P., Dushko, P.M., Draha, M.V., Kichihina, O. O. & Zatsarinna, Yu.O. (2018). Urozhainist i yakist nasinnia silskohospodarskykh kultur za dii rehulatoriv rostu roslyn [Yield and quality of agricultural crop seeds under the action of plant growth regulators]. *Ahroekologichnyi zhurnal [Agroecological Journal]*, 1. 96–101. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2018.161350> [in Ukrainian].

Volkohon, K.I. (2009). Ahroekologichne obhruntuvannia zastosuvannia biolohichnoho preparatu mikrohuminu pry vyroshchuvanni yachmeniu yarocho [Agroecological justification for the use of the biological preparation microhumin in the cultivation of spring barley]: avtoref. dys. ... kand. s.-h. nauk: 03.00.16. Uman. 20 s. [in Ukrainian].

Havryliuk, V.A. & Didkovska, T.P. (2008). Efektyvnist vykorystannia novykh vydiv mikrobiologichnykh preparativ i stymulatoriv rostu [The effectiveness of the use of new types of microbiological preparations and growth stimulants]. *Visnyk KhNAU [Bulletin of the KhNAU]*, 4. 49–52 [in Ukrainian].

Hamaiunova, V.V. & Dvoretzkyi, V.F. (2016). Pidvyshchennia produktyvnosti yarykh zernovykh kultur shliakhom optymizatsii zhyvlennia roslyn v umovakh Stepu Ukrainy [Increasing the productivity of spring grain crops by optimizing plant nutrition in the conditions of the Ukrainian Steppe]. *Bulletin of the ZhNAEU [Visnyk ZhNAEU]*, 1 (53), 74–80 [in Ukrainian].

Hanhur, V.V., Len, O.I. & Hanhur, M.V. (2021). Vplyv minimalizatsii obrobitku igruntu na volohozabezpechennia ta produktyvnist yachmeniu yarocho v zoni Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [The impact of minimizing soil cultivation on moisture supply and productivity of spring barley in the Left-Bank Forest-Steppe zone of Ukraine]. *Visnyk PDAA [Bulletin of the Agricultural Academy of Agricultural Sciences]*, 1. 128–134 <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.15> [in Ukrainian].

Kasatkina, T.O. & Hamaiunova, V.V. (2018). Perspektyvy ta osoblyvosti vyroshchuvannia yachmeniu yarocho na Pivdni Ukrainy [Prospects and features of spring barley cultivation in the South of Ukraine]. *Naukovi horyzonty [Scientific Horizons]*, 7-8 (70), 131–138 [in Ukrainian].

Mamiedova, E. I. (2018). Vplyv ahrotekhnologichnykh zakhodiv vyroshchuvannia na formuvannia nadzemnoi masy roslyn yachmeniu yarocho v umovakh Pivnichnoho Stepu Ukrainy [The influence of agrotechnological cultivation measures on the formation of the above-ground mass of spring barley plants in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine]. *Zernovi kultury [Cereal crops]*, 2 (1), 61–66 [in Ukrainian].

Ostapchuk, M.O., Polishchuk, I.S., Mazur, O.V. & Maksimov, A.M. (2015). Vykorystannia biopreparativ – perspektyvnyi napriamok vdoshkonalennia ahrotekhnologii [The use of biological products is a promising direction for improving agricultural technologies]. *Silke hospodarstvo ta lisivnytstvo [Agriculture and forestry]*, 2, 5–17 https://doi.org/nbuv.gov.ua/UJRN/agf_2015_2_3 [in Ukrainian].

Shakalii, S.M., Bahan, A.V., Yeshchenko, V.M. & Senchuk, T.Iu. (2020). Efektyvnist elementiv biolohizatsii tekhnologii vyroshchuvannia pshenytsi ozymoi v Lisostepovii zoni Ukrainy [Efficiency of elements of biologization of winter wheat growing technology in the forest-steppe zone of Ukraine]. *Tavriyskyi naukovyi visnyk [Tavria Scientific Bulletin]*, 112, 174–180 <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.112.25> [in Ukrainian].

Shakalii, S.M., Shendetskyi, O.O. & Plishenko, V.O. (2025). Vplyv poperednykiv ta stymulatoriv rostu na urozhainist ta yakist sortiv ozymoi pshenytsi [The influence of precursors and growth stimulants on the yield and quality of winter wheat varieties]. *Tavriyskyi naukovyi visnyk [Tavria Scientific Bulletin]*, 144, 243–249 <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.144.31> [in Ukrainian].

Chaikovska, L.O. (2011). Efektyvnist poiednannia vykorystannia biopreparativ na osnovi fosfatmobilizuvalnykh bakterii ta mineralnykh dobryv pry vyroshchuvanni zernovykh na pivdni Ukrainy [The effectiveness of the combined use of biological products based on phosphate-mobilizing bacteria and mineral fertilizers in growing cereals in southern Ukraine]. *Silskohospodarska mikrobiologiya [Agricultural Microbiology]*, 13, 52–58 [in Ukrainian].

Yashchenko, L.A. (2015). Produktyvnist yachmeniu yarocho za vykorystannia preparatu polimiksobakteryn [Productivity of spring barley using the preparation polymyxobacterin]. *Molodyi vchenyi [Young scientist]*, 7 (22), 30–32 [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 04.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 13.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 16
Український журнал природничих наук
№ 16

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 635.652:631.527:631.559(477.4)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.28>

ГЕНОТИПОВА ЗУМОВЛЕНІСТЬ ФОРМУВАННЯ ГЕНЕРАТИВНИХ ОРГАНІВ І ВРОЖАЙНОЇ СТРУКТУРИ СОРТІВ КВАСОЛІ ОВОЧЕВОЇ В ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Н. В. Яценко¹, І. С. Луценко²

Дослідження полягало у встановленні закономірностей генотипової зумовленості формування генеративних органів і врожайної структури сортів квасолі овочевої (*Phaseolus vulgaris* L.) різних сортотипів у Лісостепу України, а також оцінка мінливості основних морфометричних і продуктивних показників у 2024–2025 рр. Дослідження проводили у 2024–2025 рр. в умовах Лісостепу України на посівах квасолі овочевої та класичних сортів типу флажеоль. У процесі досліджень оцінювали формування генеративних органів (кількість квіток, зав'язей і збережених бобів), індивідуальну продуктивність рослин, масу бобів-лопаток, масу насіння (флажеоль), масу одного боба, кількість зерен у бобі, масу 1000 зерен та натуру зерна. Встановлено істотну диференціацію сортів за показниками репродуктивного розвитку та врожайної структури. У середньому на рослині формувалося 27,73 квітки, 21,10 зав'язаного та 14,88 збереженого боба, що підтверджує закономірність поетапної редукції генеративних органів. Традиційні сорти характеризувалися вищою генеративною активністю (26–31 квітка/росл.), ефективнішим зав'язуванням (>70 %) та більшою стабільністю формування врожаю. Сортотип флажеоль формував децю меншу кількість квіток, проте відзначався формуванням масивніших бобів і крупнішого насіння. Середня маса одного боба становила 5,95 г, кількість зерен – 8,95 шт. Маса 1000 зерен варіювала від 148,5 до 234,0 г, натура зерна – від 564 до 712 г/л. Розраховані коефіцієнти варіації основних показників свідчать про переважну роль генотипових факторів у формуванні врожайної структури. Формування генеративних органів і продуктивності квасолі овочевої значною мірою визначається генотиповими особливостями сортів. Традиційні сорти характеризуються вищою стабільністю реалізації генеративного потенціалу, тоді як сортотип флажеоль формує крупніше насіння та більш масивні боби за підвищеної варіабельності показників. Перспективи досліджень. Подальші дослідження доцільно спрямувати на вивчення взаємодії генотип × середовище та адаптивного потенціалу сортів квасолі різних сортотипів у контексті кліматичних змін.

Ключові слова: флажеоль, квітка, біб, маса 1000 зерен, натура.

¹ доктор сільськогосподарських наук, професор,
завідувач кафедри овочівництва
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: vorob2807@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3752-314X

² здобувач освітньо-наукового ступеня доктор філософії кафедри рослинництва
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: igorlisogor10@gmail.com
ORCID: 0009-0001-1966-5091

GENOTYPIC DETERMINATION OF THE FORMATION OF GENERATIVE ORGANS AND YIELD STRUCTURE OF VEGETABLE BEAN VARIETIES IN THE FOREST-STEPPE OF UKRAINE

N. V. Yatsenko, I. S. Lutsenko

The study aimed to establish patterns of genotypic determination of the formation of generative organs and yield structure in vegetable bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties of different varietal types in the Forest-Steppe of Ukraine, as well as to assess the variability of the main morphometric and productivity indicators during 2024–2025. The research was conducted in 2024–2025 under the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine using vegetable bean varieties and classical flageolet-type cultivars. The formation of generative organs (number of flowers, pods set, and pods retained), individual plant productivity, pod weight, seed weight (flageolet), weight of a single pod, number of seeds per pod, thousand-seed weight, and seed bulk density were evaluated. Significant differentiation among varieties was established in terms of reproductive development and yield structure indicators. On average, 27.73 flowers, 21.10 pods set, and 14.88 pods retained per plant were formed, confirming the pattern of gradual reduction of generative organs during ontogenesis. Traditional varieties were characterized by higher generative activity (26–31 flowers per plant), more efficient pod set (>70%), and greater stability of yield formation. The flageolet type produced slightly fewer flowers but formed larger pods and bigger seeds. The average weight of one pod was 5.95 g, with 8.95 seeds per pod. Thousand-seed weight ranged from 148.5 to 234.0 g, while seed bulk density varied from 564 to 712 g/L. Calculated coefficients of variation for the main indicators indicate the predominant role of genotypic factors in the formation of yield structure. The formation of generative organs and productivity of vegetable beans is largely determined by the genotypic characteristics of the varieties. Traditional varieties are characterized by higher stability in the realization of their generative potential, whereas the flageolet type forms larger seeds and more massive pods but exhibits greater variability of the indicators. Research prospects. Further studies should focus on investigating genotype × environment interactions and the adaptive potential of bean varieties of different varietal types under conditions of climate change.

Key words: flageolet, flower, pod, weight of 1000 seed, seed bulk density.

Вступ

Квасоля овочева (*Phaseolus vulgaris* L.) є однією з провідних зернобобових культур світового та вітчизняного овочівництва, що поєднує високу харчову цінність із здатністю до біологічної фіксації атмосферного азоту та адаптації до різних ґрунтово-кліматичних умов. За даними FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023), культура стабільно входить до переліку стратегічно важливих зернобобових у системах продовольчої безпеки, що обумовлює зростання інтересу до поглибленого вивчення механізмів формування її продуктивності (Meza-Maicelo et al., 2025, Antova et al., 2026).

У структурі врожаю квасолі визначальну роль відіграє формування генеративних органів, яке є результатом складної інтеграції генотипових особливостей і агроекологічних факторів. Репродуктивний розвиток *Phaseolus vulgaris* характеризується поетапною редукцією генеративних структур – від квіток до зав'язей і зрілих бобів – що зумовлено конкуренцією за асиміляти, гормональною регуляцією та реакцією на стресові чинники середовища (Bamber et al., 2024,

Gosgot Angeles et al., 2025). Умови Лісостепу України, які відзначаються контрастністю температурного режиму та нерівномірністю вологозабезпечення у критичні фази онтогенезу, створюють специфічний фон для реалізації генетичного потенціалу сортів (Yatsenko et al., 2023).

Особливої актуальності набуває порівняльна оцінка традиційних овочевих (спаржевих) сортів і сортотипу флажеоль, який відзначається морфологічною та фізіологічною спеціалізацією щодо формування крупнішого насіння та специфічної структури бобів (Campos et al., 2021). Виявлення генотипово зумовлених відмінностей у формуванні врожайної структури, маси 1000 зерен, натури зерна, індивідуальної продуктивності та донорно-акцепторних взаємозв'язків має важливе значення для селекції, адаптивного сортовипробування та оптимізації технології вирощування культури в умовах змін клімату (Catarcione et al., 2023; Pérez et al., 2024).

Згідно з узагальненнями, представленими у наукових публікаціях (Lee et al., 2023), формування врожайної структури квасолі визначається послідовністю морфогенетич-

них процесів, у межах яких кількість квіток є переважно генетично контрольованою ознакою, тоді як ступінь їх редукції істотно залежить від умов середовища. Автори підкреслюють, що співвідношення між потенційною та реалізованою кількістю бобів є інтегральним показником ефективності донорно-акцепторних зв'язків. Подальший розвиток ці положення отримали у працях (El-Ghany et al., 2021; Romero-Astudillo et al., 2024), де наголошено на значній ролі генотип $\times$ середовище ($G \times E$) взаємодії у формуванні продуктивності. Дослідники встановили, що коефіцієнт варіації кількості бобів та маси насіння істотно зростає за умов температурного або водного стресу, що узгоджується з концепцією екологічної пластичності сортів.

У багатьох роботах (Desheva et al., 2022; Poroch-Seritan et al., 2023; Habibi et al., 2025) доведено, що різні морфотипи *Phaseolus vulgaris* характеризуються відмінностями в архітектоніці рослин і тривалості наливу насіння, що впливає на масу 1000 зерен та співвідношення між кількістю і масою бобів. Зокрема, великонасінні форми мають пролонгований період акумуляції сухої речовини, проте демонструють більшу чутливість до дефіциту вологи.

За даними інших вчених (Bellucci et al., 2023; Losa et al., 2025), редукція частини генеративних органів є фізіологічно зумовленим процесом, який забезпечує оптимізацію навантаження на асиміляційний апарат. Це підтверджує, що збільшення кількості квіток не завжди корелює з підвищенням кінцевої врожайності, якщо донорно-акцепторний баланс є порушеним.

У вітчизняних публікаціях, зокрема в журналі Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин, відзначено, що в умовах Лісостепу України стабільність формування врожаю квасолі значною мірою залежить від погодних умов у період бутонізації та наливу бобів. Автори наголошують на необхідності добору сортів із підвищеною адаптивністю та вирівняністю морфометричних показників (Yatsenko et al., 2023).

В умовах Лісостепу України реалізація генетичного потенціалу значною мірою визначається гідротермічними умовами періоду цвітіння та наливу. Таким чином, результати власних досліджень узгоджуються з сучасними концепціями фізіології продуктивності квасолі та доповнюють їх регіонально специфічними даними щодо генотипової зумовленості формування гене-

ративних органів і врожайної структури сортів різних сортотипів у Лісостепу України.

Мета дослідження полягала у встановленні закономірностей генотипової зумовленості формування генеративних органів і врожайної структури сортів квасолі овочевої різних сортотипів у Лісостепу України впродовж 2024–2025 рр. з урахуванням статистичних параметрів мінливості ознак та їхньої екологічної пластичності.

Матеріал та методи

Дослідження проводили на дослідних ділянках навчально-виробничого відділу Уманського національного університету у 2024–2025 рр., з географічними координатами за Грінвічем 48° 46' північної широти, 30° 14' східної довготи і висотою над рівнем моря 245 м.

Дослідна ділянка розташована в зоні помірно-континентального клімату. У 2024 році вегетаційний період характеризувався посушливими умовами: кількість опадів становила 153,1 мм, що майже у 1,8 рази менше, ніж у 2025 році (275,2 мм). Опади розподілялися нерівномірно: достатнє зволоження спостерігалось у квітні та червні, тоді як у травні, липні та серпні відзначався значний дефіцит вологи в критичні фази росту та формування бобів. Поєднання високих температур і недостатнього зволоження спричинило водний стрес рослин, прискорення розвитку та зниження врожайності. У 2025 році опади були більш рясними й рівномірно розподіленими, особливо у травні та липні, що збігалось з фазами активного росту та бобоутворення. Помірний температурний режим і достатнє зволоження створили сприятливі умови для росту та формування врожаю.

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем опідзолений важкосуглинковий.

Схема досліду: сорти квасолі овочевої, що занесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні – Лаура st, Апекс, Бергголд, Каннеліно, Сакса, Супернано джалло, Топкроп та інтродуковані класичні сорти типу флажеоль – Chevrier Vert, Elsa, Flambeau та Flamingo. За стандарт брали сорт Лаура, оскільки він був найбільш апробованим.

Закладання дослідів виконували методом рендомізації (Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві, 2001). Повторність досліду – чотириразова. Площа дослідної ділянки 10 м². Посів насіння квасолі проводили за схемою 45×10 см (22200 шт./га). Попередник – часник озимий.

У дослідженні оцінювали формування генеративних органів (кількість квіток, зав'язей і збережених бобів), індивідуальну продуктивність рослин, масу бобів-лопаток, масу насіння (флажеоль), масу одного боба, кількість зерен у бобі, масу 1000 зерен та натуру зерна за загальноприйнятими методами (Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві, 2001; ДСТУ, 2007; ДСТУ, 2002)

Статистичну обробку отриманих результатів проводили з розрахунком середнього арифметичного ($\bar{x}$) стандартного відхилення (SD), розрахованого за допомогою Microsoft Excel 2024 StatPlus.

Результати

Аналіз формування генеративних органів квасолі овочевої (*Phaseolus vulgaris* L.) у 2024–2025 рр. засвідчив істотні відмінності між сортотипами за інтенсивністю цвітіння, рівнем зав'язування та збереженням бобів до технічної стиглості, що відображає взаємодію генетичних особливостей і екологічних чинників у регуляції репродуктивного розвитку. У середньому по досліді сформувалося 27,73 квітки, 21,10 зав'язаного та 14,88 збереженого боба на рослину, що свідчить про поетапну редукцію генеративних структур у процесі онтогенезу.

Традиційні сорти характеризувалися вищою генеративною активністю (26–31 квітка/росл.) і ефективністю зав'язування (>70 %, у сорту Бергголд – до

87 %), а також кращою збереженістю бобів (до 80 %), що вказує на збалансованість морфофізіологічної організації та ефективне забезпечення репродуктивних органів асимілятами. Сортотип флажеоль формував дещо меншу кількість квіток (25–31 шт./росл.), проте окремі сорти (Elsa, Flambeau) відзначалися високою реалізацією потенціалу зав'язування. Водночас Chevrier Vert і Flamingo демонстрували нижчу збереженість бобів (10–12 шт./росл.), що може бути пов'язано з підвищеною чутливістю до температурного та водного режимів у період формування зав'язей (рис. 1).

Коефіцієнт варіації для кількості квіток становив 9 %, для зав'язаних бобів – 15 %, для збережених – 24 %, що свідчить про зростання впливу абіотичних факторів на пізніших етапах формування врожайної структури. Отже, традиційний сортотип забезпечує вищу стабільність реалізації генеративного потенціалу, тоді як флажеоль характеризується більшою варіабельністю та спеціалізацією на якості продукції, що обґрунтовує диференційований підхід до добору сортів залежно від умов вирощування та напряду використання.

Аналіз індивідуальної продуктивності квасолі овочевої (*Phaseolus vulgaris* L.) у 2024–2025 рр. засвідчив істотну залежність формування маси товарної продукції від сортотипу та генетично зумовлених особливостей реалізації генеративного потенціалу.

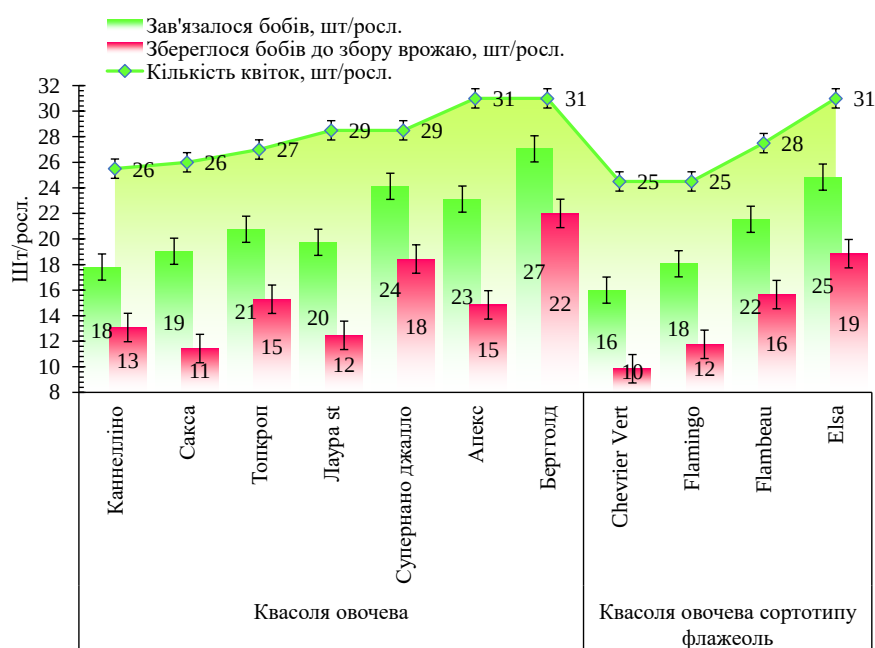


Рис. 1. Формування генеративних органів квасолі овочевої, 2024–2025 роки

У середньому маса бобів-лопаток становила 86,29 г/росл., маса флажеоль – 49,19 г/росл., що відображає відмінності у спрямованості донорно-акцепторних відносин і розподілі асимілятів залежно від господарського використання сорту (рис. 2).

У групі традиційних сортів варіювання індивідуальної продуктивності було ширшим: маса бобів-лопаток змінювалася від 51,31 до 128,41 г/росл., маса флажеоль – від 22,73 до 62,28 г/росл. Найвищі показники відзначено у сортів Бергголд, Супернано джалло, Топкроп і Апекс, що свідчить про їхню підвищену здатність до накопичення й ефективного перерозподілу пластичних речовин. Натомість Лаура st і Каннелліно характеризувалися нижчою продуктивністю, ймовірно через обмеження фотосинтетичної активності або скорочений період наливу.

Сортотип флажеоль вирізнявся більш вирівняними показниками (68,82–102,64 г/росл. для бобів-лопаток і 55,25–68,06 г/росл. для флажеоль). Найпродуктивнішим був сорт Elsa, який поєднував інтенсивне накопичення генеративної маси зі збалансованими донорно-акцепторними відносинами. Менш продуктивні Chevrier Vert і Flamingo демонстрували стабільну, але помірну реалізацію потенціалу.

Коефіцієнт варіації становив 25 % для маси бобів-лопаток і 27 % для маси фла-

жеоль, що підтверджує вагомий вплив генотипу й умов вирощування на процеси продуктоутворення. Вища мінливість насінневої маси свідчить про більшу чутливість наливу до стресових факторів. Отже, традиційні сорти характеризуються високою потенційною продуктивністю за підвищеної пластичності, тоді як флажеольні форми – стабільністю та консервативнішою стратегією формування врожаю, що обґрунтовує їх диференційоване використання залежно від рівня агротехнології та спеціалізації виробництва.

Аналіз динаміки маси одного боба-лопатки та кількості зерен у бобі квасолі овочевої у 2024–2025 рр. засвідчив істотну диференціацію показників залежно від сортотипу та генотипових особливостей. У середньому по досліді маса одного боба становила 5,95 г, кількість зерен – 8,95 шт./біб, що характеризує рівень реалізації репродуктивного потенціалу культури в умовах років досліджень.

У групі традиційної квасолі овочевої маса боба варіювала в межах 4,02–6,63 г, а кількість зерен – 8–11 шт./біб. Мінімальну масу зафіксовано у сорту Лаура st, максимальну – у Топкроп, що свідчить про виражену генотипову мінливість інтенсивності наливу генеративних органів. Сорти Супернано джалло і Топкроп поєднували відносно високу масу боба з підвищеною кількістю зерен, що вказує на ефективну координа-

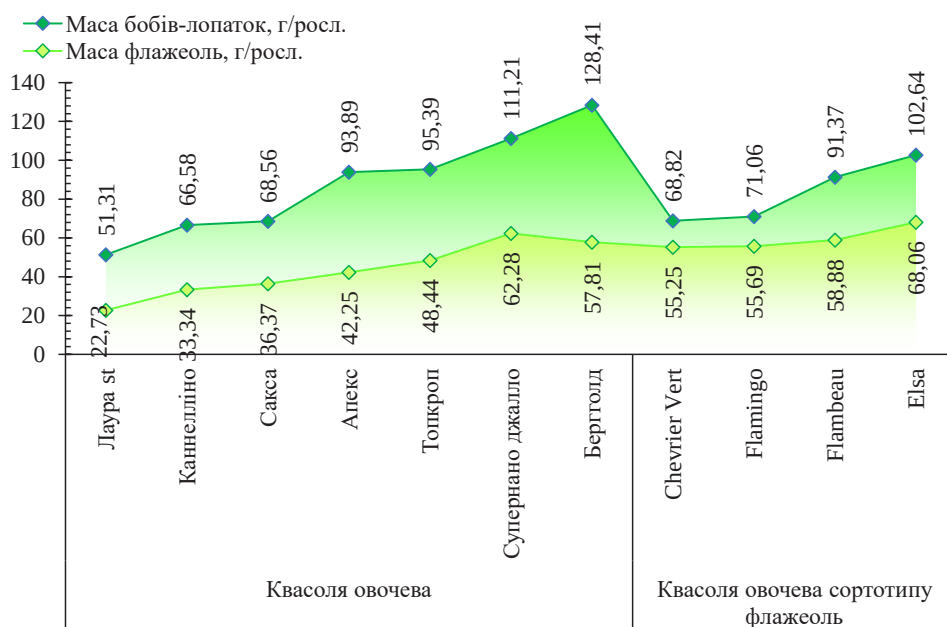


Рис. 2. Динаміка індивідуальної продуктивності рослин квасолі овочевої, 2024–2025 роки

цію процесів закладання та асиміляційного забезпечення насіння.

Сортотип флажеоль характеризувався вужчим діапазоном варіювання маси боба (5,56–7,04 г) за кількості зерен 8–11 шт./біб. Найбільшу масу формував Chevrier Vert, найменшу – Elsa; максимальну насінневу насиченість відзначено у Flamingo. Загалом флажеольні форми формували більш масивні та морфологічно вирівняні боби, тоді як істотних систематичних відмінностей за кількістю зерен між групами не виявлено (рис. 3).

Коефіцієнт варіації становив 13 % для маси боба і 12 % для кількості зерен (SD – 0,78 г і 1,08 шт.), що свідчить про помірну мінливість ознак і домінування генетичної детермінації над короткочасними екологічними флуктуаціями. Отже, традиційні сорти більшою мірою реалізують стратегію підвищення насінневої насиченості, тоді як сортотип флажеоль – оптимізації маси окремого боба та стабільності морфометричних показників, що має враховуватися при доборі сортів за напрямом використання.

У 2024–2025 рр. встановлено істотну диференціацію маси 1000 зерен і натури зерна залежно від сортотипу квасолі овчевої. У групі традиційних сортів маса 1000 зерен варіювала від 148,5 г (Лаура) до 180,5 г (Супернано джалло), розмах становив 32,0 г (21,5 %), що свідчить про помірну внутрішньогрупову мінливість. У сортотипі флажеоль варіація була значно вищою – 172,0–234,0 г (Flamingo–Elsa), розмах 62,0 г (36,0 %), що вказує на більш контрастну

генетичну детермінацію крупності насіння. Усі флажеольні сорти перевищували стандарт Лаура на 15,8–57,6 % (рис. 4).

Середнє значення маси 1000 зерен становило 179,6 г (SD = 25,87 г; CV = 14 %), що характеризує ознаку як середньо варіабельну та переважно генотипово зумовлену. Найвищі показники зафіксовано у Flambeau (215,5 г) та Elsa (234,0 г), що свідчить про реалізацію потенціалу формування крупного зерна.

Натура зерна демонструвала зворотну тенденцію: у традиційних сортів вона була вищою (644–712 г/л), ніж у флажеольних (564–680 г/л). Загальне середнє становило 663 г/л (CV = 6 %), що вказує на високу стабільність показника. Виявлено негативну асоціацію між крупністю та натурою зерна, що відображає компроміс між об'ємом і щільністю насіння. Традиційні сорти формують більш компактне зерно, тоді як флажеоль – крупніше, але менш щільне, що важливо для селекційної та технологічної оцінки.

Обговорення

Отримані дані щодо значно вищого рівня генеративної активності у традиційних овчевих сортів квасолі щодо кількості квіток і коефіцієнта трансформації квіток у зав'язі узгоджуються з висновками інших вчених (Geleta et al., 2024), які показали, що генотипові особливості значною мірою визначають загальну ефективність репродуктивного процесу у *Phaseolus vulgaris* при різних умовах вирощування (Geleta et al., 2024). У їхньому дослідженні генотипові відмінності в цвітінні й зав'язуванні були статис-

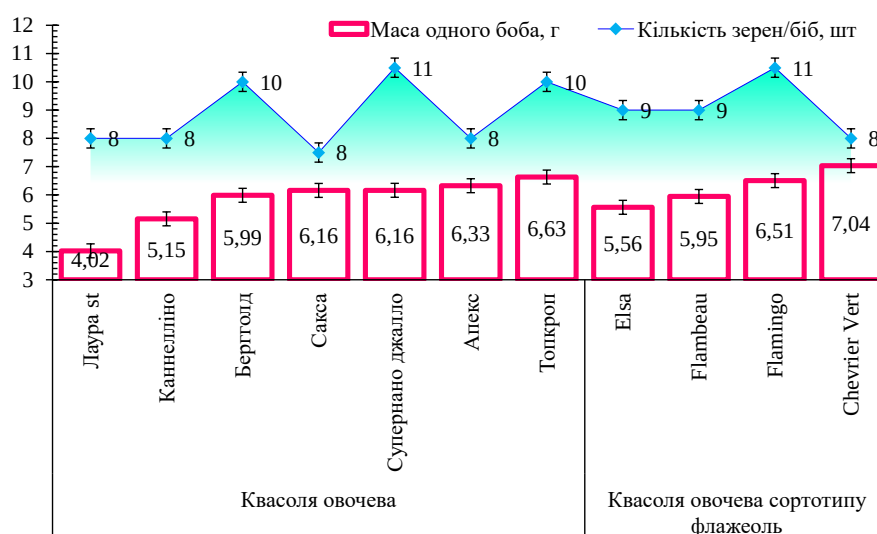


Рис. 3. Маса одного боба-лопатки квасолі овчевої та кількість зерен у бобі, 2024–2025 роки

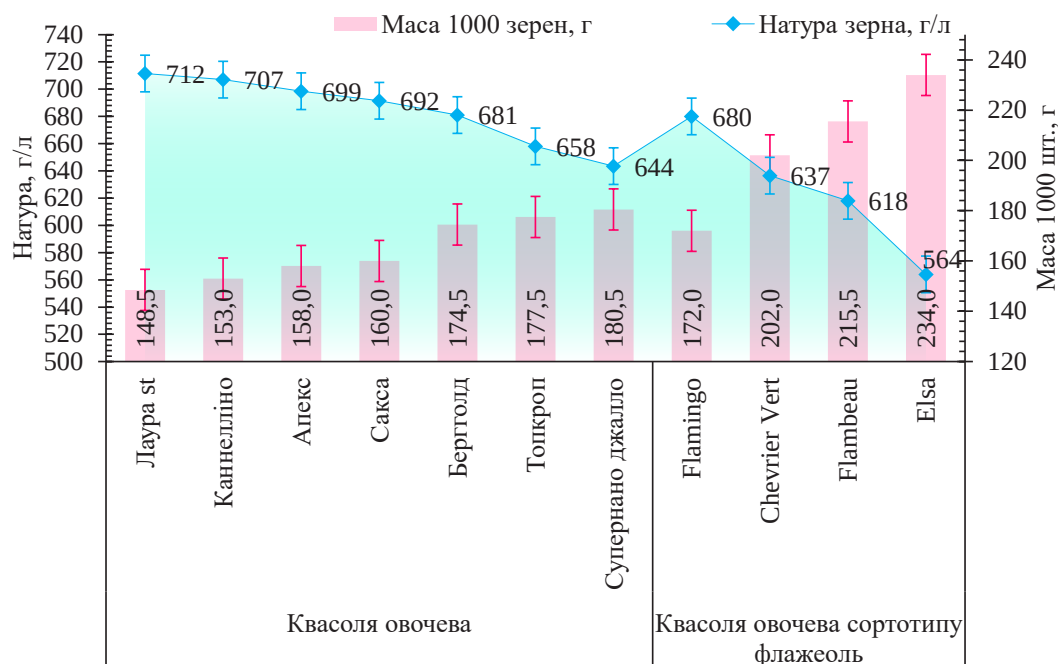


Рис. 4. Маса 1000 та натура сухого зерна квасолі овочевої, 2024–2025 роки

тично значущими, навіть за впливу абіотичних стресів.

У свою чергу група дослідників (Liu et al., 2022; Losa et al., 2025), виявили, що репродуктивні процеси у квасолі значно чутливі до температурного стресу, особливо у фазі цвітіння і запилення, що виражається у зміні коефіцієнту зав'язування та кількості збережених бобів. Схожа тенденція була також зафіксована у цьому дослідженні, де сортотип флажеоль демонстрував нижчу стабільність зав'язування, ймовірно внаслідок чутливішої реакції на температурні коливання (Lee et al., 2023).

Результати щодо поступового зниження кількості квіток → зав'язей → збережених бобів підтверджують загально визнану концепцію фізіологічної редукції репродуктивних органів (Lee et al. 2023). Автори визначили, що деякі етапи морфогенезу мають значну ймовірність втрат, особливо при обмеженому донорно-акцепторному балансі, що виражається як зниження репродуктивної ефективності.

Вченими з'ясовано, що максимальна кількість квіток і зав'язей не гарантує пропорційного збільшення кінцевої врожайності бобів, оскільки частина генеративних структур може бути відкинута під впливом абіотичних обмежень та конкуренції за асиміляти (Romero-Astudillo et al., 2024).

Висока варіабельність продуктивних показників у традиційних сортах та більша

стабільність у флажеольних формах підтверджує диференційовані адаптаційні стратегії.

Висновки

У 2024–2025 рр. в умовах Лісостепу України встановлено виражену генотипову зумовленість формування генеративних органів і врожайної структури квасолі овочевої (*Phaseolus vulgaris* L.). Виявлено статистично обґрунтовану диференціацію між традиційними сортами та сортотипом флажеоль за інтенсивністю цвітіння, рівнем зав'язування, збереженістю бобів, індивідуальною продуктивністю та морфометричними показниками насіння.

Традиційні сорти характеризувалися вищою генеративною активністю та стабільністю формування врожаю, що свідчить про ефективні донорно-акцепторні взаємозв'язки й оптимальний баланс між вегетативним і репродуктивним ростом. Сортотип флажеоль формував масивніші боби та крупніше насіння, однак відзначався більшою варіабельністю реалізації потенціалу, що відображає стратегію оптимізації маси окремого органа за меншої їх кількості.

Встановлено алометричну залежність між масою 1000 зерен і натурою: зі збільшенням крупності знижувалася насипна щільність. Отже, диференційований добір сортів є доцільним з урахуванням напряму використання та рівня агротехнології.

Список використаної літератури

- ДСТУ 4138–2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Київ : Держстандарт України, 2003. 173 с.
- ДСТУ ЕЭК ООН FFV-06:2007. Квасоля. Настанови щодо постачання і контролювання якості. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2007. 24 с.
- Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві / за ред. Г. Л. Бондаренка, К. І. Яковенка. Харків : Основа, 2001. 369 с.
- Antova G., Stoilova T., Chavdarov P. Nutritional Value and Bioactive Lipid Constituents in Seeds of *Phaseolus* Bean Cultivated in Bulgaria. *AppliedChem*. 2026. Vol. 6. No 1. P. 4. <https://doi.org/10.3390/appliedchem6010004>
- Bamber N., Arulnathan V., Puddu L. та ін. Life Cycle Inventory and Assessment of Canadian Faba Bean and Dry Bean Production. *Sustainable Production and Consumption*. 2024. Vol. 46. P. 442–459. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.02.034>
- Bellucci E., Benazzo A., Xu C. та ін. Selection and adaptive introgression guided the complex evolutionary history of the European common bean. *Nature Communications*. 2023. Vol. 14. P. 1908. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37332-z>
- Campos K., Schwember A. R., Machado D., Ozores-Hampton M., Gil P. M. Physiological and yield responses of green-shelled beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under restricted irrigation. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. P. 562. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030562>
- Catacione G., Paolacci A. R., Alicandri E. та ін. Genetic Diversity and Population Structure of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Landraces in the Lazio Region of Italy. *Plants*. 2023. Vol. 12. No 4. P. 744. <https://doi.org/10.3390/plants12040744>
- Desheva G., Valchinova E., Deshev M. Ex-situ Conservation of PGR in the National Seed Genebank of Bulgaria – Past, Present and Future. *Bulgarian Journal of Crop Science*. 2022. Vol. 59. P. 3–8. [Електронний ресурс]. URL: <https://agriacad.eu/ojs/index.php/bjcs/article/view/1832/1703> (дата звернення: 06.03.2026).
- El-Ghany M. F. A., El-Kherbawy M. I., Abdel-Aal Y. A. та ін. Comparative Study between Traditional and Nano Calcium Phosphate Fertilizers on Growth and Production of Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Plants. *Nanomaterials*. 2021. Vol. 11. No 11. P. 2913. <https://doi.org/10.3390/nano11112913>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT statistical database. Rome : FAO, 2023. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.fao.org/faostat/> (дата звернення: 06.03.2026).
- Geleta R. J., Roro A. G., Terfa M. T. Phenotypic and Yield Responses of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Varieties to Different Soil Moisture Levels. *BMC Plant Biology*. 2024. Vol. 24. P. 242. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04856-5>
- Gosgot Angeles W., Banda Martinez D., Barrena Gurbillón M. Á. та ін. Productivity and Morphological Adaptation of *Phaseolus vulgaris* L. in Agrivoltaic Systems with Different Photovoltaic Technologies: A Case Study in Chachapoyas, Amazonas, Peru. *Agronomy*. 2025. Vol. 15. No 3. P. 529. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030529>
- Habibi S., Aryan S., Seerat A. Y., Saighani K., Haidari M. D. Maximizing Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Productivity Through Application of Organic and Inorganic Fertilizers in Alkaline Soil. *Applied Biosciences*. 2025. Vol. 4. No 2. P. 22. <https://doi.org/10.3390/applbiosci4020022>
- Lee Z., Kim S., Choi S. J. та ін. Regulation of Flowering Time by Environmental Factors in Plants. *Plants*. 2023. Vol. 12. P. 3680. <https://doi.org/10.3390/plants12213680>
- Liu C., Yang X., Yan Z., Liu D., Feng G. Identification and Characterization of a Mutant PV-PUR Gene Responsible for the Purple Phenotype of Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23. No 3. P. 1265. <https://doi.org/10.3390/ijms23031265>
- Losa A., Sala T., Toppino L. та ін. Genetic Diversity and Distinctiveness of Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Between Landraces and Formal Cultivars Supporting Ex Situ Conservation Policy: The Borlotti Case Study in Northern Italy. *Agronomy*. 2025. Vol. 15. No 4. P. 786. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040786>
- Meza-Maicelo W., Balcázar-Zumaeta C. R., Santillan Culquimboz H. W., Oliva-Cruz M., Lozano-Isla F. Global Trends in Biotic and Abiotic Stress Mitigation Strategies for Common Bean: A Bibliometric Study. *International Journal of Plant Biology*. 2025. Vol. 16. No 4. P. 135. <https://doi.org/10.3390/ijpb16040135>
- Pérez R., Fernández C., Laca A., Laca A. Evaluation of Environmental Impacts in Legume Crops: A Case Study of PGI White Bean Production in Southern Europe. *Sustainability*. 2024. Vol. 16. No 18. P. 8024. <https://doi.org/10.3390/su16188024>

Poroch-Seritan M., Greculeac P. M., Dobrincu D. S. та ін. Chemical and Physical Characterization of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Landraces by North–North-Western Extremity of Romania. *Food and Environment Safety*. 2023. Vol. 22. P. 79–88. <http://dx.doi.org/10.4316/fens.2023.008>

Romero-Astudillo M. J., Tapia C., Giménez de Azcárate J., Montalvo D. Diversity of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and Runner Bean (*Phaseolus coccineus* L.) Landraces in Rural Communities in the Andes Highlands of Cotacachi–Ecuador. *Agronomy*. 2024. Vol. 14. No 8. P. 1666. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081666>

Yatsenko V., Poltoretskiy S., Yatsenko N., Poltoretska N., Mazur O. Agrobiological assessment of green bean varieties by adaptability, productivity, and nitrogen fixation. *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 26. No 7. P. 79–94. <https://doi.org/10.48077/scihor7.2023.79>

References

DSTU 4138–2002 (2003). Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti [Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality]. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy. 173 p. [in Ukrainian].

DSTU UNECE FFV-06:2007 (2007). Kvasolia. Nastanovy shchodo postachannia i kontroliuvannia yakosti [Beans. Guidelines for supply and quality control]. Kyiv: DP “UkrNDNTs”. 24 p. [in Ukrainian].

Bondarenko, H.L.; & Yakovenko, K.I. (Eds.). (2001). Metodyka doslidnoi spravy v ovochivnytstvi i bashtannytstvi [Methodology of experimental work in vegetable and melon growing]. Kharkiv: Osnova. 369 p. [in Ukrainian].

Antova, G., Stoilova, T., & Chavdarov, P. (2026). Nutritional Value and Bioactive Lipid Constituents in Seeds of *Phaseolus* Bean Cultivated in Bulgaria. *AppliedChem*, 6(1), 4. <https://doi.org/10.3390/appliedchem6010004>. [in English].

Bamber, N., Arulnathan, V., Puddu, L., Smart, A., Ferdous, J., & Pelletier, N. (2024). Life Cycle Inventory and Assessment of Canadian Faba Bean and Dry Bean Production. *Sustain. Prod. Consum*, 46, 442–459. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.02.034>. [in English].

Bellucci, E., Benazzo, A., Xu, C., Bitocchi, E., Rodriguez, M., Alseekh, S., Di Vittori, V., Gioia, T., Neumann, K., Cortinovis, G., et al. (2023). Selection and adaptive introgression guided the complex evolutionary history of the European common bean. *Nat. Commun.* 14, 1908. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37332-z>. [in English].

Campos, K., Schwember, A. R., Machado, D., Ozores-Hampton, M., & Gil, P. M. (2021). Physiological and yield responses of green-shelled beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under restricted irrigation. *Agronomy*. Vol. 11. Article 562. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030562>. [in English].

Catarcione, G., Paolacci, A. R., Alicandri, E., Gramiccia, E., Taviani, P., Rea, R., Costanza, M. T., De Lorenzis, G., Puccio, G., Mercati, F., & Ciaffi, M. (2023). Genetic Diversity and Population Structure of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Landraces in the Lazio Region of Italy. *Plants*, 12(4), 744. <https://doi.org/10.3390/plants12040744>. [in English].

Desheva, G., Valchinova, E., & Deshev, M. (2022). Ex-situ Conservation of PGR in the National Seed Genebank of Bulgaria–Past, Present and Future. *Bulg. J. Crop Sci.* 59, 3–8. [Electronic resource] URL: <https://agriacad.eu/ojs/index.php/bjcs/article/view/1832/1703>. [in English].

El-Ghany, M. F. A., El-Kherbawy, M. I., Abdel-Aal, Y. A., El-Dek, S. I., & Abd El-Baky T. (2021). Comparative Study between Traditional and Nano Calcium Phosphate Fertilizers on Growth and Production of Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Plants. *Nanomaterials*, 11(11), 2913. <https://doi.org/10.3390/nano11112913>. [in English].

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). *FAOSTAT statistical database*. Rome: FAO. [Electronic resource] URL: <https://www.fao.org/faostat/> (access date 06.03.2026) [in English].

Geleta, R.J., Roro, A.G., Terfa, M.T. (2024). Phenotypic and Yield Responses of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Varieties to Different Soil Moisture Levels. *BMC Plant Biol.*, 24, 242. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04856-5>. [in English].

Gosgot Angeles, W., Banda Martinez, D., Barrera Gurbillón, M. Á., Espinoza Canaza, F. I., Santillan Gomez, H., Mori Servan, D. C., Yalta Chappa, M., Huanes Mariños, M. A., Gamarra-Torres, O. A., & Oliva-Cruz, M. (2025). Productivity and Morphological Adaptation of *Phaseolus vulgaris* L. in Agrivoltaic Systems with Different Photovoltaic Technologies: A Case Study in Chachapoyas, Amazonas, Peru. *Agronomy*, 15(3), 529. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030529>. [in English].

Habibi, S., Aryan, S., Seerat, A. Y., Saighani, K., & Haidari, M. D. (2025). Maximizing Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Productivity Through Application of Organic and Inorganic Fertilizers

in Alkaline Soil. *Applied Biosciences*, 4(2), 22. <https://doi.org/10.3390/applbiosci4020022>. [in English].

Lee, Z., Kim, S., Choi, S.J., Joung, E., Kwon, M., Park, H.J., & Shim, J.S. (2023). Regulation of Flowering Time by Environmental Factors in Plants. *Plants*, 12, 3680. <https://doi.org/10.3390/plants12213680>. [in English].

Liu, C., Yang, X., Yan, Z., Liu, D., & Feng, G. (2022). Identification and Characterization of a Mutant *PV-PUR* Gene Responsible for the Purple Phenotype of Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 23(3), 1265. <https://doi.org/10.3390/ijms23031265>. [in English].

Losa, A., Sala, T., Toppino, L., Fricano, A., Rossi, G., Gipli, V., & Landoni, M. (2025). Genetic Diversity and Distinctiveness of Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Between Landraces and Formal Cultivars Supporting Ex Situ Conservation Policy: The Borlotti Case Study in Northern Italy. *Agronomy*, 15(4), 786. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040786>. [in English].

Meza-Maicelo, W., Balcázar-Zumaeta, C. R., Santillan Culquimboz, H. W., Oliva-Cruz, M., & Lozano-Isla, F. (2025). Global Trends in Biotic and Abiotic Stress Mitigation Strategies for Common Bean: A Bibliometric Study. *International Journal of Plant Biology*, 16(4), 135. <https://doi.org/10.3390/ijpb16040135>. [in English].

Pérez, R., Fernández, C., Laca, A., & Laca, A. (2024). Evaluation of Environmental Impacts in Legume Crops: A Case Study of PGI White Bean Production in Southern Europe. *Sustainability*, 16(18), 8024. <https://doi.org/10.3390/su16188024>. [in English].

Poroch-Serițan, M., Greculeac, P.M., Dobrințu, D.S., Jarcău, M., Matei, A.L., & Chicaroș, T. (2023). Chemical and Physical Characterization of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Landraces by North–North–Western Extremity of Romania. *Food Environ. Saf.*, 22, 79–88. <http://dx.doi.org/10.4316/fens.2023.008>. [in English].

Romero-Astudillo, M. J., Tapia, C., Giménez de Azcárate, J., & Montalvo, D. (2024). Diversity of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and Runner Bean (*Phaseolus coccineus* L.) Landraces in Rural Communities in the Andes Highlands of Cotacachi-Ecuador. *Agronomy*, 14(8), 1666. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081666>. [in English].

Yatsenko, V., Poltoretskiy, S., Yatsenko, N., Poltoretska, N., & Mazur, O. (2023). Agrobiological assessment of green bean varieties by adaptability, productivity, and nitrogen fixation. *Scientific Horizons*, 26(7), 79–94. <https://doi.org/10.48077/scihor7.2023.79>. [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 06.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 16
Український журнал природничих наук
№ 16

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

ЕКОЛОГІЯ

УДК 504.4.054:551.583:355.01(477.64)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.29>

ДЕГРАДАЦІЯ ГІДРОЕКОСИСТЕМИ МАЛОЇ РІЧКИ МОКРА ПІД ВПЛИВОМ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ, ЗМІН КЛІМАТУ ТА ВОЄННИХ ДІЙ

Н. В. Воронова¹, В. В. Горбань², Д. В. Височін³, Д. Ю. Коростильов⁴

В основу дослідження покладено аналіз масиву лабораторних даних моніторингу поверхневих вод за період 2021–2025 рр., що включав 12 фізико-хімічних, органічних та біогенних параметрів. Методологічний апарат охоплює побудову часових рядів для виявлення деградаційних трендів, розрахунок кратності перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) та проведення кореляційного аналізу для встановлення зв'язків між органічним забрудненням і кисневим режимом. Державною базою слугували дані Запорізького обласного центру з гідрометеорології та Державної екологічної інспекції Південного округу.

Вперше проведено оцінку впливу руйнування греблі Каховської ГЕС на гідрохімічний стан малої річки через призму зміни базису ерозії та інтенсифікації вторинного забруднення азотовмісними сполуками внаслідок ресуспензії донних відкладень. Обґрунтовано методологічну неспроможність класичного батометричного пробовідбору для моніторингу забруднення важкими нафтопродуктами (мазутом) та доведено необхідність переходу до автоматизованих систем безперервного контролю електропровідності та розчиненого кисню. Встановлено, що ключовим фактором деградації є промислові скиди високої мінералізації, що перетворюють річку на промисловий колектор. Встановлено, що річка перебуває у V класі якості («дуже погана»), що робить її епідеміологічно та токсикологічно небезпечною. Виявлено, що вміст солей та сполук азоту перевищує гігієнічні норми у 2–4 рази, що в умовах падіння рівня води у Дніпрі перетворює Мокру Московку на

¹ кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри загальної та прикладної екології і зоології
(Запорізький національний університет, м. Запоріжжя)
e-mail: 180270n@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0186-7584

² кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри загальної та прикладної екології і зоології
(Запорізький національний університет, м. Запоріжжя)
e-mail: valera251077@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4720-293X

³ аспірант кафедри загальної та прикладної екології і зоології
(Запорізький національний університет, м. Запоріжжя)
e-mail: dmytrovdv7@gmail.com
ORCID: 0009-0008-8298-5056

⁴ аспірант кафедри загальної та прикладної екології і зоології
(Запорізький національний університет, м. Запоріжжя)
e-mail: dimas.kor221@gmail.com
ORCID: 0009-0000-0337-3935

потужне джерело хронічного забруднення головної водної артерії України. Рекомендовано проведення термінового гідрохімічного аудиту промислових підприємств басейну та розробку проектів санації русла від нафтопродуктів. Результати дослідження є базою для розрахунку збитків державі за фактами екоциду.

Ключові слова: екологічна деградація, промислове забруднення, нафтопродукти, поствоєнне відновлення.

DEGRADATION OF THE MOKRA SMALL RIVER HYDROECOSYSTEM UNDER THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC PRESSURE, CLIMATE CHANGE, AND MILITARY OPERATIONS

N. V. Voronova, V. V. Horban, D. V. Vysochin, D. Yu. Korostylov

The study is based on the analysis of surface water monitoring data for 2021–2025, encompassing 12 physicochemical, organic, and biogenic parameters. The methodological approach involves time-series analysis to identify degradation trends, calculation of maximum permissible concentration (MPC) exceedances, and correlation analysis to establish links between organic pollution and the oxygen regime. Data were sourced from the Zaporizhzhia Regional Center for Hydrometeorology and the State Environmental Inspection of the Southern District.

This research provides the first assessment of the Kakhovka HPP dam destruction's impact on a small river's hydrochemical state, viewed through the lens of base level of erosion shifts and intensified secondary nitrogen pollution due to sediment resuspension. The study substantiates the methodological insufficiency of conventional bathymetric sampling for monitoring heavy petroleum products (fuel oil) and demonstrates the necessity of transitioning to automated systems for continuous monitoring of electrical conductivity and dissolved oxygen. High-mineralization industrial discharges are identified as the primary degradation factor, effectively transforming the river into an industrial collector. The river is classified as Quality Class V ("very poor"), posing significant epidemiological and toxicological risks. Salinity and nitrogen compound levels exceed hygienic standards by 2–4 times; amid the declining water levels of the Dnieper, the Mokra Moskovka has become a major source of chronic pollution for Ukraine's primary waterway. The study recommends an urgent hydrochemical audit of industrial enterprises within the basin and the development of channel remediation projects targeting petroleum products. These findings provide a framework for calculating state environmental damages resulting from acts of ecocide.

Key words: environmental degradation, industrial pollution, petroleum products, post-war recovery.

Вступ

Малі річки є фундаментом гідрографічної мережі України, що забезпечує екологічну рівновагу територій. Проте сьогодні вони перебувають у стані глибокої кризи, оскільки з 1991 року зникло близько 10 000 таких водотоків (Мудрак та ін., 2022). Критичність ситуації посилюється кумулятивним ефектом кліматичної аридизації та військової агресії, що веде до фізичного руйнування екосистем. Дослідження деградації річки Мокра є стратегічно важливим для розробки планів поствоєнного відновлення промислово навантажених регіонів.

Сучасна трансформація гідрографічної мережі України відбувається під тиском глобальних кліматичних трендів та інтенсивного антропогенезу. Мудрак та співавт. (Мудрак та ін., 2022) акцентують на критичному зникненні малих річок, що становить близько 400 об'єктів щорічно. За прогнозами І. Дідовець та ін. (Didovets et al.,

2020), зміни клімату призведуть до подальшого дефіциту водних ресурсів у ключових басейнах України. У промислово навантажених регіонах, зокрема в Запорізькій області, ці процеси супроводжуються погіршенням соляного складу вод, що підтверджується дослідженнями О. Троїцької та ін. (Troicka et al., 2021, с. 134). О. Назаренко (Nazarenko et al., 2024) наголошує, що стабілізація екологічної безпеки Півдня України потребує впровадження систем інтегрованого моніторингу та керованого відновлення водних ресурсів.

Військова агресія РФ стала каталізатором екоциду, спричиняючи масштабне хімічне забруднення та руйнування гідротехнічної інфраструктури (Hryhorczuk et al., 2024). А. Кузик та співавт. (Кузик та ін., 2024) вказують на прямий вплив бойових дій на погіршення якості річкових вод. Це зумовлює деградацію соціально-екологічних систем та втрату екосистемних послуг (Elbakidze et al.,

2025). Дж. Н. Кларк (Clark, 2025) обґрунтовує необхідність перегляду концепції правосуддя з урахуванням шкоди «більш-ніж-людським» світом. Важливим доповненням є результати громадського моніторингу (Малі ..., 2025), які фіксують повну втрату річкою Мокра Московка здатності до самоочищення в межах міської агломерації.

Біологічна деградація басейну р. Мокра Московка, спричинена тривалою урбанізацією, детально проаналізована у працях О. Рильського та співавт. (Рильський та інш., 2023), де відмічено виснаження біорізноманіття прибережних зон. Для об'єктивного оцінювання стану таких систем ефективним є використання організмів зооперифітону (Rylskyi et al., 2023). Технологічна модернізація контролю передбачає впровадження автоматизованих систем вимірювання температури (Воронова та ін., 2025), що дозволяє проводити дистанційний моніторинг у важкодоступних зонах конфлікту.

Метою дослідження є комплексний аналіз причин та механізмів деградації гідроекосистеми малої річки Мокра під кумулятивним впливом кліматичної аридизації та військових дій, а також обґрунтування пріоритетних заходів щодо її екологічного відновлення та сталого управління в поствоєнний період.

Матеріал і методи

Методологія дослідження базується на аналізі масиву даних лабораторних вимірювань за контрольними періодами (2021–2025 рр.), що охоплюють 12 ключових параметрів якості водного середовища: фізико-хімічні (рН, розчинений кисень, електропровідність, мінералізація), органічні (БСК₅, ХСК) та біогенні (сполуки азоту та фосфору). Первинною інформаційною базою слугували дані державного моніторингу поверхневих вод Запорізького обласного центру з гідрометеорології (створ 0,5 км від гирла річки) (Запорізький ..., 2025), матеріали перевірок Державної екологічної інспекції Південного округу (Державна ..., 2025), а також щорічні Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Запорізькій області (Запорізька ..., 2024).

Результати

Річка Мокра, яка до 17 січня 2024 року офіційно іменувалася Мокра Московка, є типовим прикладом водотоку Степової зони, що проходить через складну траєкторію від відносно природних верхів'їв до глибоко деградованих урбанізованих ділянок у межах міста Запоріжжя. Її басейн охоплює

територію, де виходи Українського кристалічного щита визначають специфічний гідрохімічний фон, зокрема природно підвищену мінералізацію води, що є характерною рисою для гранітних кар'єрів та виходів кристалічних порід.

Гідроекосистема річки Мокра протягом останнього десятиліття демонструє ознаки критичного виснаження. Вона виконує роль не лише природного дренажу, а й регулятора мікроклімату, джерела аварійного водопостачання та рекреаційного ресурсу для мешканців Запоріжжя. Проте поєднання кліматичної аридизації та прямого військового впливу створює умови для повного зникнення цієї артерії протягом найближчих 15–30 років.

Морфометричні параметри річки зазнали суттєвих змін через будівництво штучних споруд, зокрема ставків та систем підземного зрошення в парку «Дубовий гай», що було реалізовано ще в середині ХХ століття. Ця фрагментація русла в умовах сучасного зниження водності перетворює річку на ланцюг стагнуючих водойм, де процеси самоочищення практично зупинені.

Одним із найбільш критичних показників якості води р. Мокра є рівень мінералізації (рис. 1).

Аналіз даних показує стабільне перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК для водойм господарсько-питного призначення ~1000 мг/дм³). Висока мінералізація (діапазон 1300–2870 мг/дм³) свідчить про значний вплив промислових скидів та природну засоленість ґрунтів водозбору. Пікові значення спостерігаються в зимовий період (грудень–лютий), що корелює зі зменшенням водності річки. Кореляція між електропровідністю та мінералізацією вказує на іонну природу забруднення (рис. 2, табл. 1).

Таке екстремальне засолення (сульфатно-хлоридного типу) однозначно вказує на його техногенне походження. Найімовірнішим джерелом є скид високомінералізованих шахтних вод, розсолів з металургійних травильних відділень або фільтрату з полігонів промислових відходів, які потрапляють у річку через систему зливової каналізації або внаслідок несанкціонованих врзок. Синхронність піків у червні може свідчити про сезонний характер технологічних регламентів підприємств-забруднювачів (наприклад, спорожнення накопичувачів перед сезоном дощів).

Кисневий режим річки залишається відносно задовільним, проте спостерігаються

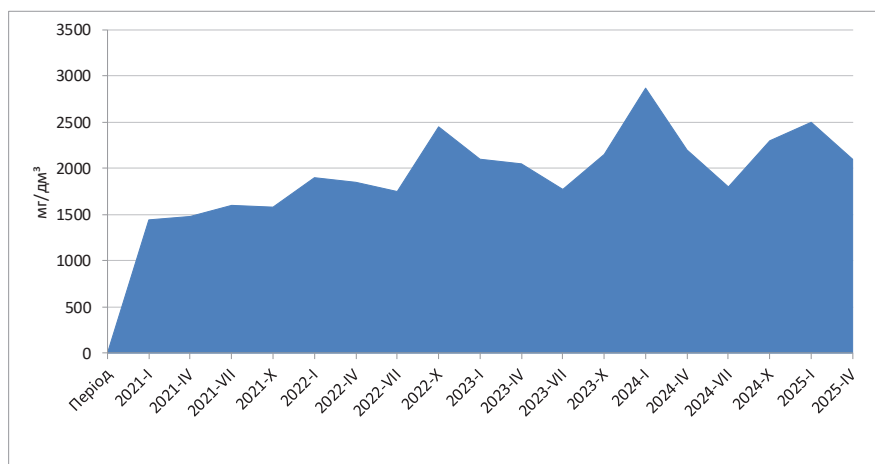


Рис. 1. Динаміка мінералізації води (2021–2025) р. Мокра

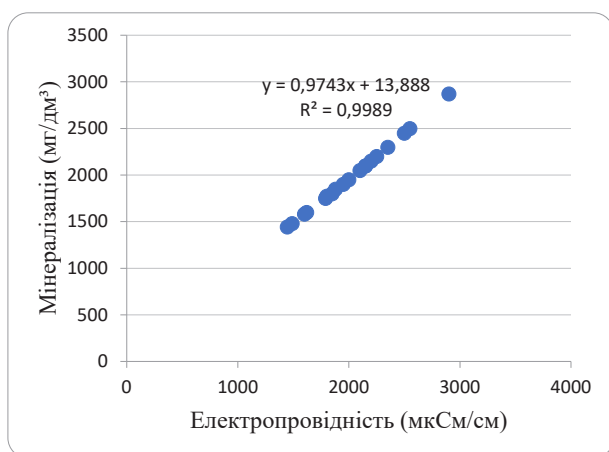


Рис. 2. Кореляція між електропровідністю та мінералізацією в річці Мокра (2021–2025 рр.)

значні коливання. Показники БСК5 варіюють у межах 2,6 – 4,5 мгО₂/дм³, що вказує на наявність органічних речовин, які легко окислюються. Значення перевищують рибогосподарський норматив (2,0 мгО₂/дм³) у 100% випадків. Перевищення гігієнічного нормативу (3,0 мгО₂/дм³) фіксується у понад 60% проб (рис. 3).

Особливе занепокоєння викликають високі показники ХСК, які сягають 38 мгО₂/дм³. Значний розрив між ХСК та БСК5 свідчить про домінування у воді важ-

коокиснюваних органічних сполук, ймовірно, техногенного походження, які не піддаються швидкому біологічному розкладу. Високий рівень ХСК при помірному БСК5 (співвідношення близько 10:1) є маркером промислового забруднення.

Аналіз форм міграції азоту дозволяє оцінити давність та характер забруднення. Присутність амонійного азоту та перехід його у нітратну форму є важливим індикатором самоочищення. На графіку (Рис. 4) представлено структуру азотного навантаження. Домінування нітратів у літні періоди свідчить про вторинне забруднення або змив добрив. Спостерігається тенденція до зростання мінералізації та сульфатів у 2024 році порівняно з 2021 роком, що може бути пов'язано зі змінами клімату (маловоддя) та антропогенним тиском.

11-12 травня 2025 року мешканці та екоактивісти зафіксували щільну плівку мазуту, що вкрила понад 800 м² поверхні річки. Шар забруднювача був настільки товстим, що витримував вагу кинутого каміння. Аналіз результатів державного моніторингу за цей період виявив суттєвий дисонанс між візуальними показниками стану водойми та даними лабораторних вимірювань. Зокрема, концентрація нафтопродуктів у відібраних пробах становила 0,169 мг/дм³, що формально не перевищувало встановлену

Таблиця 1
Порівняльна характеристика мінералізації (мг/дм³) у 2021 та 2025 роках

Параметр	2021 рік (січень-червень)	2025 рік (січень-червень)	Динаміка
Мінімум	1240,5	2021,7	Зростання у 1,6 раза
Максимум	3120,0	3856,5	Зростання пікових значень
Середнє	1850,2	2699,0	Погіршення на 45,8%
Кратність ГДК	1,8 раза	2,7 раза	Системне погіршення

гранично допустиму концентрацію (ГДК = 0,3 мг/дм³). Показники органічного забруднення також залишалися в межах фонових значень: ХСК – 32 мгО₂/дм³, БСК₅ – 3,05 мгО₂/дм³ (Запорізький ЦГМ, 2025).

Така ситуація свідчить про глибоку методологічну проблему дискретного пробовідбору. Оскільки важкі вуглеводні (мазут) мають тенденцію до концентрації на межі розділу фаз «вода–атмосфера» або до швидкої седиментації на дно, стандартний батометричний метод відбору проб із товщі потоку (на глибині 0,5 м) не дозволяє адекватно оцінити реальний масштаб плівкового та донного забруднення. Проте рівень ХСК на позначці 32 мгО₂/дм³ побічно під-

тверджує присутність розчинених та емульгованих фракцій нафтопродуктів у водному середовищі.

Довгострокові екологічні наслідки цього інциденту полягають у формуванні зон стійкого вторинного забруднення. Депоновані в донних відкладеннях вуглеводні спричиняють деградацію бентосних угруповань та створюють ризик пролонгованої десорбції токсикантів у водну товщу під впливом термічних чинників або механічного збурення осадів (Кузик та ін., 2024; ДЕІ Південного округу, 2025).

Застосування методики екологічної оцінки дозволяє зробити інтегральну оцінку якості води річки Мокра (табл. 2).

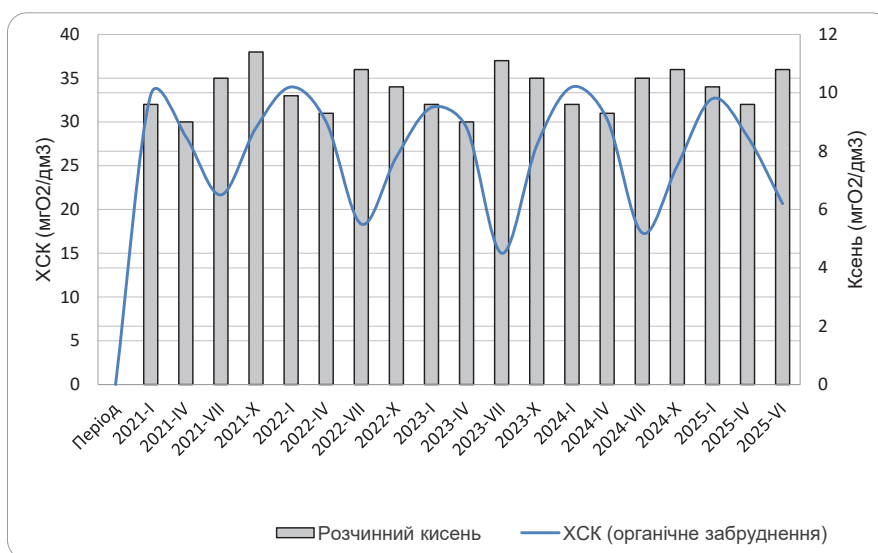


Рис. 3. Співвідношення розчиненого кисню та ХСК у річці Мокра (2021–2025 рр.)

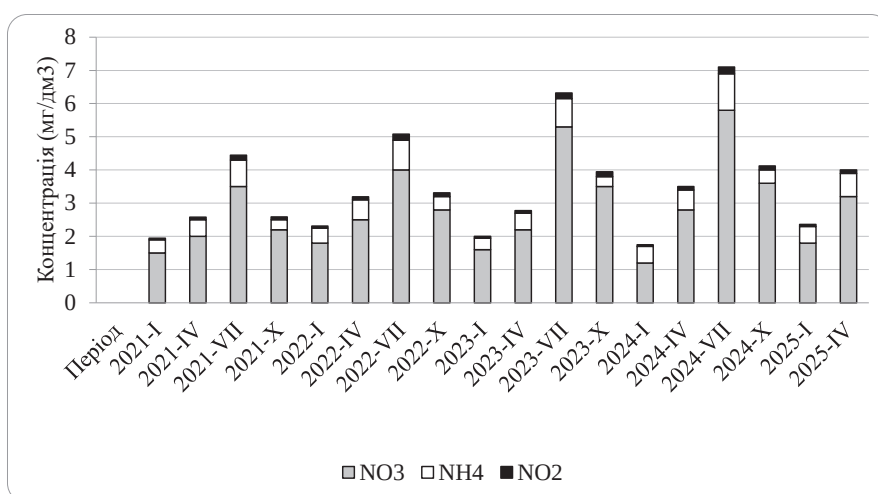


Рис. 4. Структура азотного навантаження на річку Мокра

Таблиця 2

Інтегральна оцінка якості води річки Мокра (2021–2025 рр.)

Група показників	Фактичний стан	Клас якості	Категорія якості	Характеристика
Трофо-сапробіологічні	БСК5: 3-4,5; NH ₄ : 1-3	IV	6 Брудна	Вода з ознаками значного органічного та фекального забруднення.
Сольовий склад	TDS: 1500-4000	V	7 Дуже брудна	Гіпергалінні умови, непридатні для прісноводної біоти.
Специфічні речовини	Нафтопродукти, ХСК	V	7 Дуже брудна	Токсичний вплив, що викликає деградацію екосистеми.
Загальна оцінка	V клас	Поганий екологічний стан	Екосистема втратила здатність до самовідновлення; деградована	

Обговорення

Аналіз багаторічної динаміки екологічного стану річки Мокра у період 2021–2025 рр. дозволяє виділити кілька етапів трансформації гідроекосистеми, зумовлених зміною техногенного навантаження та глобальними геополітичними викликами.

Довоєнний період (2021 р.) характеризувався інтенсивною антропогенною експлуатацією басейну, що призводило до формування критичних рівнів сольового та органічного навантаження. Зокрема, у червні 2021 року було зафіксовано явище «сольового шоку», коли показники загальної мінералізації сягнули екстремальних значень – близько 4300 мг/дм³. Це свідчить про домінування прямих промислових скидів високомінералізованих вод, що супроводжувалося значним накопиченням органічних речовин у водному середовищі.

У 2022 році спостерігалася дестабілізація системи екологічного моніторингу, що спричинила фрагментарність отриманих даних. Початок повномасштабних воєнних дій зумовив вимушену трансформацію промислового комплексу регіону та послаблення інституційного нагляду. Попри обмеженість вибірки, можна припустити певну зміну структури стоків: вимушене скорочення обсягів промислового виробництва частково нівелювалося стабільним рівнем комунально-побутового навантаження та ризиками, пов'язаними з пошкодженням інженерних мереж.

Критичним моментом у гідрологічній історії річки став червень 2023 року. Руйнування греблі Каховської ГЕС спричинило різке падіння рівня води у р. Дніпро, що призвело до зниження базису ерозії для річки Мокрої. Наслідком цього стала інтенсифікація течії у гирловій частині,

що активувало процеси розмиву та винесення акумульованих донних відкладень. Даний гідродинамічний ефект зумовив явище вторинного хімічного забруднення: зафіксовано різке зростання концентрації амонійного азоту (до 6,96 мг/дм³) та загального азоту (до 6,15 мг/дм³). Такі сплески біогенних елементів є результатом ресуспензії донного мулу, який протягом десятиліть виступав депонуючим середовищем для азотовмісних сполук.

Період 2024–2025 років демонструє перехід гідроекосистеми до стану стабільної деградації, що став «ною нормою» для басейну. Даний етап характеризується хронічно високою мінералізацією (понад 2000 мг/дм³), персистентним дефіцитом розчиненого кисню в літні періоди та регулярними сплесками концентрацій токсичних речовин.

Кульмінаційним проявом безконтрольного техногенного впливу став масштабний розлив нафтопродуктів у травні 2025 року, що призвів до формування стійкого плівкового забруднення та подальшої токсикації донних біоценозів. Таким чином, сучасний стан річки визначається як глибоко депресивний, де природні механізми самоочищення фактично заблоковані постійним надходженням висококонцентрованих стічних вод.

Висновки

Проведене дослідження підтверджує стан глибокої екологічної кризи гідроекосистеми малої річки Мокра, що за сукупністю гідрохімічних показників відповідає V класу якості («дуже погана»). Хімічний аналіз за період 2021–2025 рр. свідчить, що домінуючим фактором деградації є не комунальне навантаження, а систематичні промислові скиди високомінералізованих розсолів

та нафтоводяних емульсій. Це призвело до стійкої трансформації річки на промисловий колектор, де вміст солей та сполук азоту перевищує гігієнічні нормативи у 2–4 рази. В умовах руйнування Каховського водосховища та зниження базису ерозії річка Мокра стала значущим джерелом вторинного забруднення Дніпра через активну ресуспензію накопичених у донних відкладеннях токсикантів.

Перспективи подальших наукових пошуків полягають у розробці алгоритмів поствоєнного відновлення басейну на

основі принципів «зеленої» хімії та сталого водокористування. Пріоритетним напрямком є впровадження автоматизованих систем безперервного потенціометричного та кондуктометричного моніторингу для фіксації пікових залпових скидів, а також детальне хімічне профілювання донних осадів з метою їх подальшої санації. Отримані результати є науковим підґрунтям для розрахунку збитків, завданих довкіллю для формування нових стандартів екологічної безпеки в промислово навантажених регіонах України.

Список використаної літератури

Воронова Н.В., Горбань В.В., Коростильов Д.В. Дослідження методів автоматизованого контролю температури як інструмента сталого розвитку та ресурсоощадження. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2025. № 4 (151). С. 82–89. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2025.4.9>

Державна екологічна інспекція Південного округу. *Про надання інформації щодо стану р. Мокра* : Лист № 3227/07-06/06/2-31 від 08.07.2025 р. Запоріжжя, 2025. 2 с.

Запорізька обласна військова адміністрація (ЗОВА). Стан довкілля в Запорізькій області: Регіональні доповіді. 2024 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.zoda.gov.ua/article/2645/stan-dovkillya-v-zaporizkiy-oblasti.html>, (дата звернення 10.08.2025).

Запорізький обласний центр з гідрометеорології. *Про спостереження за поверхневими водами р. Мокра* : Лист № 999 001-862/999-04 від 08.07.2025 р. Запоріжжя, 2025. 2 с.

Кузик А.Д., Бойчук Б.Я., Король К.А., Дирда Р.О. Вплив воєнних дій на якість води в річках України. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2024. № 30. С. 22–31. <https://doi.org/10.32447/20784643.30.2024.03>

Малі річки Запоріжжя: громадське дослідження стану екосистеми Дніпра та його приток: анотований звіт за результатами досліджень / За ред. М. Сороки, Т. Жавжарової. Запоріжжя : Вісник ГО «Екосенс», 2025. Вип. 2 <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36487.51363>

Мудрак О.В., Хаєцький Г.С., Мудрак Г.В., Серебряков В.В. Оцінка екологічного стану малих річок Східного Поділля в контексті сталого розвитку регіону. *Екологічні науки*. 2022. №6 (45). С. 132–138. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.21>

Рильський О.Ф., Домбровський К.О., Воронова, Н.В., Горбань В.В., Дударєва Г.Ф., Притула Н.М. Екологічні аспекти формування біорізноманіття р. Мокра Московка *Екологічні науки*. 2023. № 4 (49). С. 64–69. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.10>

Clark J.N. The Environmental Impacts of the Russia-Ukraine War: Challenging Anthropocentric Approaches to Transitional Justice. *Social & Legal Studies*. 2025. Vol. 1. P. 1–28. <https://doi.org/10.1177/09646639251360212>

Didovets I., Krysanova V., Hattermann F.F. et al. Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2020. Vol. 32. 100761. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100761>

Elbakidze M., Kuns B., Gunko R. et al. Understanding the impact of the war on people-nature relationships in Ukraine. *Ecosystem Services*. 2025. Vol. 73. 101725. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101725>

Hryhorczuk D., Levy B.S., Prodanchuk M. et al. The environmental health impacts of Russia's war on Ukraine. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 2024. Vol. 19, No. 1. <https://doi.org/10.1186/s12995-023-00398-y>

Nazarenko OI., Berezovska A., Tymoshchuk V., Sherstiuk Ye. Integrated water resources monitoring system within the structure of environmental safety in southern Ukraine. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2024. Р. 122–127. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/122>

Rylsky O.F., Dombrovskiy K., Masikevych Y., Masikevych A., Malovanyy M. Evaluation of Water Quality of the Siret River by Zooperiphyton Organisms. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. T. 24, № 6. P. 294–302. <https://doi.org/10.12911/22998993/163166>

Troicka O., Belokon K., Manidina Y., Ryzkov V. Environmental assessment of the surface water condition of the Dnipro river from the water supply areas of Zaporizhzhia city for selected indicators of the salt composition block. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету*. 2021. № 1 (38). С. 134–140. <https://doi.org/10.31319/2519-2884.38.2021.16>

References

- Voronova, N.V., Horban, V.V., Korostyliov, D.V. (2025). Doslidzhennia metodiv avtomatyzovanoho kontroliu temperatury yak instrumenta staloho rozvytku ta resursoshchadzhennia [Research of automated temperature control methods as a tool for sustainable development and resource saving]. *Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho [Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University]*, 4 (151), 82–89. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2025.4.9>. [in Ukrainian].
- State Environmental Inspection of the Southern District. (2025). Pro nadannia informatsii shchodo stanu r. Mokra [On providing information on the state of the Mokra River]: Lyst № 3227/07-06/06/2-31 vid 08.07.2025 r. Zaporizhzhia, 2 p. [in Ukrainian].
- Zaporizhzhia Regional Military Administration (ZRMA). (2024). Stan dovkillia v Zaporizkii oblasti: Rehionalni dopovidi [State of the environment in the Zaporizhzhia region: Regional reports]. [Electronic resource] URL: <https://www.zoda.gov.ua/article/2645/stan-dovkillia-v-zaporizkiy-oblasti.html> (access date 10.08.2025) [in Ukrainian].
- Zaporizhzhia Regional Center for Hydrometeorology. (2025). Pro sposterezhennia za poverkhnevymy vodamy r. Mokra [On observation of surface waters of the Mokra River]: Lyst № 999 001-862/999-04 vid 08.07.2025 r. Zaporizhzhia, 2 p. [in Ukrainian].
- Ryl'skyi, O.F., Dombrovskiy, K.O., Voronova, N.V., Horban, V.V., Dudarieva, H.F., Prytula, N.M. (2023). Ekolohichni aspekty formuvannia bioriznomanittia r. Mokra Moskovka [Ecological aspects of biodiversity formation of the Mokra Moskovka River]. *Ekolohichni nauky [Environmental Sciences]*, 4(49), 64–69. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.10>. [in Ukrainian].
- Kuzyk, A.D., Boichuk, B.Ya., Korol, K.A., Dyrda, R.O. (2024). Vplyv voiennykh dii na yakist vody v richkakh Ukrainy [The impact of military actions on water quality in the rivers of Ukraine]. *Visnyk Lvivskoho derzhavnogo universytetu bezpeky zhyttiedialnosti [Bulletin of Lviv State University of Life Safety]*, 30, 22–31. <https://doi.org/10.32447/20784643.30.2024.03>. [in Ukrainian].
- Soroka, M., Zhavzharova, T. (Eds.). (2025). Mali richky Zaporizhzhia: hromadske doslidzhennia stanu ekosystemy Dnipra ta yoho prytok: anotovanyi zvit za rezultaty doslidzhen [Small rivers of Zaporizhzhia: public study of the state of the Dnieper ecosystem and its tributaries: annotated report on research results]. *Visnyk HO «Ecosens» [Ecosense NGO Bulletin]*, 2. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36487.51363>. [in Ukrainian].
- Mudrak, O.V., Khaietskyi, H.S., Mudrak, H.V., Serebriakov, V.V. (2022). Otsinka ekolohichnoho stanu malykh richok Skhidnoho Podillia v konteksti staloho rozvytku rehionu [Assessment of the ecological state of small rivers of Eastern Podillia in the context of sustainable development of the region]. *Ekolohichni nauky [Environmental Sciences]*, 6(45), 132–138. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.21>. [in Ukrainian].
- Clark, J.N. (2025). The environmental impacts of the Russia-Ukraine war: Challenging anthropocentric approaches to transitional justice. *Social & Legal Studies*, 1–28. <https://doi.org/10.1177/09646639251360212> [in English].
- Didovets, I., Krysanova, V., Hattermann, F.F., López, M.R.R., Snizhko, S., & Müller Schmied, H. (2020). Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 32, 100761. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100761> [in English].
- Elbakidze, M., Kuns, B., Gunko, R., et al. (2025). Understanding the impact of the war on people-nature relationships in Ukraine. *Ecosystem Services*, 73, 101725. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101725> [in English].
- Hryhorczuk, D., Levy, B.S., Prodanchuk, M., et al. (2024). The environmental health impacts of Russia's war on Ukraine. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 19 (1). <https://doi.org/10.1186/s12995-023-00398-y> [in English].
- Nazarenko, O., Berezovska, A., Tymoshchuk, V., Sherstiuk, Y. (2024). Integrated water resources monitoring system within the structure of environmental safety in Southern Ukraine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (3), 122–128. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/122> [in English].
- Ryl'skyi, O.F., Dombrovskiy, K., Masikevych, Y., et al. (2023). Evaluation of water quality of the Siret river by zooperiphyton organisms. *Journal of Ecological Engineering*, 24 (6), 294–302. <https://doi.org/10.12911/22998993/163166> [in English].
- Troicka, O.O., Bielokon, K.V., Manidina, Ye.A., & Ryzhkov, V.A. (2021). Environmental assessment of the surface water condition of the Dnipro river from the water supply areas of Zaporizhzhia city for selected indicators of the salt composition block. *Collection of Scientific Papers of DSTU*, 1 (38), 134–140. <https://doi.org/10.31319/2519-2884.38.2021.16> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 10.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 09.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



УДК 574.3

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.30>

ПОНЯТТЯ І ПРОЯВИ СОЛІТАРНОСТІ В ЕКОЛОГІЇ ТВАРИН

І. В. Загороднюк¹, М. А. Коробченко²

Поняття солітарності стосується різних проявів усамітненого способу життя тварин, і його основним застосуванням є позначення поодинокого способу життя всіх особин у позарепродуктивний період, коли тварини не формують шлюбні пари або сімейні групи типу «мати+прибулі». Розглянуто словникові тлумачення солітарності та її синонімію, приклади застосування в екології тварин та інших галузях знання, визначення поняття у тлумачних словниках та наукових публікаціях. Поняття розглянуто на прикладі ссавців для обмеження різноманіття його проявів і тлумачень з метою більш чіткого окреслення феномена. Явище солітарності закономірно проявляється у групах з вузькими або іншим чином обмеженими просторовими і трофічними нішами. Зокрема, солітарність виявляється незмінним атрибутом багатьох груп верхівкових хижаків (напр., ведмідь, рись, росомаха), проте властиве й іншим групам, критично залежним від дефіциту ресурсів (напр., види родин *Mustelidae*, *Spalacidae*, *Soricidae*). Розглянуто динаміку рівня солітарності, причини її виникнення і механізми зворотної соціалізації. Солітарність особливо яскраво проявляється у хижих тварин, які часто є верхівковими хижаками. Проте явище солітарності є зворотним, і точкою відліку є старт репродуктивних циклів, після чого соціалізація убуває аж до досягнення повної солітарності. Солітарність може бути вимушеною і набутою при значному розрідженні популяції, зокрема й внаслідок надмірної їх експлуатації (полювання), погіршення умов існування з надмірною смертністю або наднизькою плідністю, фрагментацією простору і порушеннями міграційних шляхів. Останнє може суттєво трансформувати просторову структуру популяції і унеможливити взаємодії окремих особин, включно з формуванням шлюбних пар або сезонних зграй для колективних полювань. Розглянуто форми здичавіння свійських хижих (псів і котів) як моделі зменшення соціалізації, проте з подальшим формуванням нових її проявів, від усамітненої бродяжності до створення ними зграй.

Ключові слова: аутекологія, просторова структура популяції, соціальні системи.

¹ кандидат біологічних наук, провідний науковий співробітник
(Інститут еволюційної екології НАН України, м Київ)
e-mail: zoozag@ukr.net

ORCID: 0000-0002-0523-133X

² провідний інженер відділу музеології
(Національний науково-природничий музей НАН України, м. Київ)
ORCID: 0000-0002-1063-482X

THE CONCEPT AND MANIFESTATIONS OF SOLITARINESS IN ANIMAL ECOLOGY

I. V. Zagorodniuk, M. A. Korobchenko

The concept of solitariness refers to various manifestations of the solitary lifestyle of animals, and its main application is to denote the solitary lifestyle of all individuals in the non-reproductive period, when animals do not form mating pairs or family groups such as 'mother + offspring'. The dictionary definitions of solitariness and its synonyms, examples of its use in animal ecology and other fields of knowledge, as well as definition of the term in explanatory dictionaries and scientific publications are considered. This concept is considered using mammals as an example, in order to limit the diversity of its manifestations and interpretations and to define this phenomenon more clearly. The phenomenon of solitariness naturally manifests itself in groups with narrow or otherwise limited spatial and trophic niches. In particular, solitariness manifests itself as an invariable attribute of many groups of apex predators (e.g., bears, lynxes, wolverines), but it is also characteristic of other groups that are critically dependent on scarce resources (e.g., species of the families Mustelidae, Spalacidae, Soricidae). The dynamics of the level of solitariness, the reasons for its occurrence, and the mechanisms of reverse socialisation are considered. Solitariness is particularly evident in predatory animals, especially large carnivores, which are essentially apex predators. However, the phenomenon of solitariness is reversible, and the starting point is the beginning of reproductive cycles, after which socialisation decreases until complete solitariness is achieved. Solitariness can be forced and acquired when populations are significantly depleted, particularly as a result of overexploitation (hunting), deteriorating living conditions with excessive mortality or extremely low fertility, fragmentation of space and disruption of migration routes. The latter can significantly transform the spatial structure of populations and make interactions between individuals impossible, including forming mating pairs or seasonal flocks for collective hunting. Forms of feralisation of domestic carnivores (dogs and cats) are considered as models of reduced socialisation, but with the subsequent formation of new patterns of socialisation, from solitary vagrancy to the formation of packs.

Key words: autecology, spatial structure of population, social systems.

Вступ

Солітарність – особливий тип життєдіяльності, коли кожна особина в популяції, окрім періоду репродукції, веде усамітнений спосіб життя. Його можливими синонімами є усамітненість, самотність, окремішність, до певної міри й самотійність або самотостатність. Такий стиль обмежує внутрішньовидові конфлікти (по суті конкуренцію) і, відповідно, є механізмом збільшення життєздатності кожної особини. Одночасно він вимагає складної соціальної і просторової організації в популяції, складних форм поведінки при пошуку шлюбних партнерів та інших адаптацій (Kappelle, 2019). Такі системи стосунків вимагають дуже тонких механізмів підтримання цілісності популяцій і загалом виду.

З такими явищами не раз стикалися й автори, надто при вивченні просторового розподілу видів із вкрай вузькими нішами або значними збігами ніш, як от у підземних гризунів (Коробченко та ін., 2010). Те саме можна говорити і про більшість хижих, навіть дрібних, як от види родини Мустелових, Mustelidae (Загороднюк, 2009). Більші види ще частіше демонструють не тільки алопатричність на рівні взаємин близьких видів, але й солітарність, якщо

мова йде про хижацтво (вершини пірамід) або вузьку трофічну спеціалізацію. В таких випадках вони формують розріджені популяції, в яких просторова організація з точки зору екоморфології й конкурентних взаємин стає «алопатрією в квадраті». Такі системи найбільш яскраво виразні у верхівкових хижаків.

Оскільки це поняття в україномовній літературі практично відсутнє, ми присвятили цей текст його значенню і вжитку.

Матеріал і методи

Робота ґрунтується на аналізі наукових публікацій, а також на опрацюванні фахових енциклопедичних видань та тлумачних словників біологічного і загального спрямування. Для аналізу термінологічного поля було відібрано праці з екології поведінки, теріології та етології, де термін «солітарність» використовується для опису структури популяцій. Для обмеження надмірної варіативності проявів солітарності та забезпечення чіткості висновків, основним об'єктом аналізу обрано клас ссавців (Mammalia).

У роботі використано термінологічний та етимологічний аналіз – для з'ясування походження поняття «солітарність», його синонімії та розмежування з суміжними поняттями. Компаративний (порівняльний)

аналіз – для зіставлення стратегій поведінки різних екологічних груп ссавців залежно від трофічних і просторових ресурсів. Метод аналогії – при розгляді процесів здичавіння свійських тварин як моделі трансформації соціальних структур у нестабільних умовах. Аналіз динаміки солітарності проводили з урахуванням репродуктивних циклів (старт циклу як точка відліку соціалізації) та життєвих стратегій видів у межах їхніх екологічних ніш.

Результати та їх обговорення

Тлумачення терміну. Поняття «солітарність» не часте у словниках, проте наявне. У словнику «Екологія. Тлумачний словник» (Мусієнко та ін., 2004) цей термін відсутній; немає його і в «Словнику-довіднику сучасних екологічних та природоохоронних термінів» (Гончаренко і Савгіра, 2010). Знаходимо термін у виданні «Великий тлумачний словник (ВТС) сучасної української мови» (Бусел, 2005): «Солітарний. Одинокий, окремий, одиничний.»

Пояснення етимології немає, але ясно, що слово є запозиченням з англійського 'solitary'. Важливість появи такого терміну як неологізму визначається тим, що кожний неологізм входить лише у вузький обіг і не обтяжений суміжними тлумаченнями загальної лексики, які можна отримати для його українських відповідників (напр., «одинокий»).

Англійські словники – очевидно більш продуктивне джерело, оскільки запозичення очевидно було саме з англійської або принаймні через посередництво англійської. Обмежимося словником Кембриджа, який дає одразу й переклади українською слова 'solitary' (Cambridge Dictionary, 2026): «1) alone; without companions – самотній, одинокий; 2) living or being alone, by habit or preference – одинокий; 3) single – окремий, поодинокий». З інших прикладів – «A solitary figure – самотня постать», «Solitary bee – одиночна бджола».

Власне, ці тлумачення найповніше відображають той сенс, який вкладається в «солітарність» як стиль життя, рівень (не) соціальності. І очевидно, що термін стосується конкретних персон, не абстрактних понять (мандрівник, особина, постать, бджола). У нашому випадку важливим є застосування поняття до абстракції, якою є «вид». Останнє є нездоланною проблемою всіх подібних означень, як і у випадку з іншими термінами, які мають стосуватися більше особин, їх груп або цілих популяцій,

проте не виду як категорії. Такими прикладами є означення «рідкісний», «мінливий», «сутінковий». Попри все, такі означення вживаються, з акцентом на прояви виду (в колекціях, у природі).

Термін відсутній у енциклопедіях, зокрема й у тритомній «Екологічній енциклопедії» (Толстоухов, 2008). Авторами введено в українську вікіпедію на основі оригінальної публікації 2010 р. щодо життєвої форми підземних гризунів, де цей термін вжито в українськомовній екологічній літературі вперше (Коробченко та ін., 2010). Вікіпедійне визначення, уведене в українську вікіпедію авторами 13.11.2011, таке: «Солітарні тварини – види тварин, популяції яких являють собою розрізнені поселення окремих особин, що ведуть поодинокий, усамітнений спосіб життя. Переважну частину свого життєвого циклу солітарні тварини проводять усамітнено, проте у періоди репродукції або сезонних чи репродуктивних міграцій можуть формувати тимчасові скупчення.»

Нами визначення дано в огляді «Природнича термінологія в описах змін біоти в умовах війни та бойових дій» (Загороднюк, 2023): «Солітарний (aff. самітницький) – усамітнений спосіб життя, який виключає постійні взаємини з іншими особинами цього ж виду, нерідко у форматі «солітарний вид», особливість багатьох видів, що живуть в умовах браку ресурсів (підземні мешканці, хижаки тощо). В умовах надмірних екологічних стресів, зокрема й унаслідок бойових дій, у багатьох видів тварин рівень солітарності катастрофічно зростає через втрати батьків, дітей, шлюбних партнерів тощо.».

Використання терміну в публікаціях в Україні. Поняття «солітарний» і введено в обіг в українській фаховій зоологічній літературі авторами при аналізі екології гризунів-землеріїв (Коробченко та ін., 2010). Прикладом вжитку в нарисах енциклопедичного стилю стали нариси про рідкісні види за нашим авторством у «Червоній книзі Донецької області» (Залевський і Бронсков, 2017), зокрема в характеристиках таких видів, як їжак вухатий (с. 384), нічниця степова (с. 391), нетопир пігмей (399).

Єдиний відомий нам приклад в українській зоологічній літературі з неавторською участю стосується поведінки ведмедів в умовах неволі: «До ефективних методів урізноманітнення рутини диких тварин відносять групування представників одного

виду, навіть якщо вид проявляє солітарний характер у дикій природі» (Озарків, 2019).

Із 2025 р. у «Великій українській енциклопедії», термін ввели в низці нарисів про ссавців (С. Харчук, за участі авторів). Прикладом є опис бінтуронга (*Arctictis binturong*) з родини віверових: «Вид солітарний, але не суворо територіальний. Зазвичай живуть поодинокі, проте їх можна спостерігати і в парі та разом із їхніми нащадками» (Велика Українська Енциклопедія, 2026).

У суміжних галузях термін існує як позначення в гістології. Зокрема, в медицині ним позначають ізольовані новоутворення. Приклади: «солітарні вогнищеві ураження легень» (Ліскіна, 2022); «розрізняють фагоцитарний, солітарний і аліментарний типи живлення (яйцеклітин).» (Держинський та ін., 2014).

Солітарність та соціальна структура популяцій

Ключові особливості солітарності. В англійській літературі поняття «солітарність» більш вживане. Наприклад, при описах землеріїв використовують солітарність як протиставлення соціальності: 'Reproductive strategies in solitary and social African mole-rats' (Bennett et al., 2007). Термін для землеріїв ввели саме на позначення стилю життя, при якому тварини є суворо територіальними (Bennett & Jarvis, 1988a, 1988b; Bennett et al., 2001). Загалом це є однією з рис багатьох підземних тварин, які живуть в умовах постійного дефіциту ресурсів і у вузькій просторовій ніші, і такий термін точно характеризує їхні унікальні особливості.

Це поняття стосується далеко не тільки землеріїв. Спосіб життя багатьох великих хижих, у т.ч. й ведмедів, рисей чи росомах – це солітарність упродовж значного періоду часу, надто якщо мова про дорослих самців. Поняття це стосується і низки приматів та інших тварин, щодо яких існує широка література (Karpele, 2019; Makuu & Schradin, 2024). В першій з цих двох праць наведено детальний опис особливостей солітарності у контексті вивчення соціальних систем тварин. Згідно з цією концепцією, необхідно розрізняти чотири компоненти кожної соціальної системи: (1) соціальну організацію, (2) соціальну структуру, (3) систему спарювання, (4) систему догляду (табл. 1).

Ці особливості треба враховувати окремо, оскільки, напр., системи парування (моночиполігамія) або система догляду (материнський, двобатьківський) можуть розріз-

нятися у різних видів (Makuu & Schradin, 2024). За такою схемою можливо описати та оцінити зміни у соціальності у будь-якого виду тварин. Соціальність і солітарність не є сталою ознакою, вони визначаються багатьма факторами і залежать від загальної структури групи, особливостей взаємодій, парування та догляду за потомством. Зміни у соціальності залежать від доступу до ресурсів, партнерів та типів взаємодії з потомством.

Динаміка солітарності

Явище солітарності закономірно проявляється у групах із вузькими або обмеженими просторовими і трофічними нішами. Як відмічено вище, солітарність є незмінним атрибутом багатьох верхівкових хижаків (ведмідь, рись, росомаха), проте властиве й іншим групам, критично залежним від дефіциту ресурсів (напр., види *Mustelidae*, *Spalacidae*, *Soricidae*). Відповідно до наявних ресурсів і характеру їх використання у багатьох видів існує динаміка рівня солітарності, з відповідними причинами її виникнення і механізми розвитку зворотної соціалізації у періоди репродукції, міграції, сплячки.

Солітарність може переважати протягом усього життя, крім періодів репродукції, проте може змінюватися і протягом онтогенезу – з віком, статусом, сезонами. Так, представники будь-якого виду, що солітарні у дорослому віці, у дитинстві тісно пов'язані з матір'ю і сибсами. Всі великі хижі, які в дорослому віці й у залежності від сезону демонструють зміни солітарності з найвищими її проявами у позарепродуктивний період, соціалізуються в періоди розмноження та при потребі колективних полювань.

Тригерами можуть бути не тільки доступність ресурсів чи зміни взаємодій, але й стресові фактори. Аналізуючи впливи війни на біоту, нами щодо солітарності відмічено таке (Загороднюк, 2023): «В умовах хронічного стресу ... може зростати частка безпритульних і бродячих тварин, ..., збільшуватися рівень солітарності особин тощо. Іншими словами, об'єктами уваги можуть ставати не тільки оцінки таких статусів, але й їх зміни...».

Ефекти розріджених популяцій. Існує проблема вимушеного формування тваринами розріджених популяцій, що є не тільки фактором збільшення рівня солітарності, але й причиною зростання агресивності. Таке стає «нормою» у антропогенно трансформованих середовищах і в районах з виразним домінуванням людей, а також в районах

нещодавнього вселення хижих, де вони певний час були відсутні. Фрагментація середовища, надмірна випадкова смертність, прес мисливців, турбування, мала кормність угідь – все це фактори зміни територіального розподілу, ритмів активності, харчових спеціалізацій і врешті – формування надмірної солітарності, по суті вимушеної (Smith et al., 2024). Очікуваною стає агресивність хижих у нестабільних популяціях, і такі явища найчастіше стосуються ведмедів, великих котів, рідше – вовків (Nowak et al., 2021)).

Власне, для солітарних тварин розрідження їхніх популяцій – це не критичний стан, а по суті бажаний. Проте при надвеликих фізичних відстанях між особинами в періоди, коли солітарність має змінюватися соціалізацією, такі розрідження популяцій стають перешкодами, тобто критичними через обмеження життєвих стратегій, зокрема й репродукції.

Плюси й мінуси солітарності як норми і як результату розрідження популяцій

наведено у табл. 2. Напевно, має бути певний рівноважний стан між цими модусами і мають бути певні природні фактори, які сприяють або суперечать солітарності. Ключовий з них – це репродукція, оскільки всі ссавці – бісексуальні, а у великорозмірних ще й домінують різні форми семіотики (система «свій-чужий»), надто в періоди репродуктивних змагань, що за нормальних умов стає фактором високих темпів еволюції (Kull, 2016).

Фактично плюси стають актуальними у періоди онтогенетичного стазису в умовах стабільного середовища; прикладом такого статусу є холості особини або дорослі самці-самітники у літніх високопродуктивних місцезнаходженнях.

Такі статуси солітарності з незмінною територіальною складовою мають свої негативні сторони для існування «солітарників», посилені антропогенною трансформацією середовища, його фрагментацією і відчуженням людиною великих територій. Як відомо, навіть площі великих заповідних

Таблиця 1
Солітарність через складові соціальної системи (за: Kappeler, 2019)

Компоненти соціальної системи	Соціальна організація	Соціальна структура	Система спарювання	Система догляду
Змінні або питання, на які відповідає компонент	Розмір групи Склад групи Тип спорідненості	Соціальна взаємодія Комунікація	Хто парується? Хто розмножується?	Хто доглядає?
Ключові характеристики соціальної системи	Самотність Життя в парі Життя в групі	Соціальні відносини Соціальні зв'язки	Схема спарювання Репродуктивний переки	Батьківська турбота Спільна батьківська турбота
Аспекти, що сприяють соціальній складності	Просторові відмінності Часові відмінності Статева сегрегація Статеве співвідношення дорослих особин	Ієрархія домінування Складність комунікації Міжгрупові відносини	Одноразове розмноження проти багаторазового розмноження Альтернативні тактики розмноження Розподіл зусиль при розмноженні	Кооперативне розмноження Динаміка помічників Поліморфізм каст

Таблиця 2

Плюси і мінуси солітарності

Плюси (загалом прості, але їх більше)	Мінуси (загалом складні)
1) зниження конкурентності, зокрема й передусім внутрішньовидової 2) зниження контагіозності зоонозів 3) зниження вразливості від хижацтва 4) можливість «відходити» далеко від батьківських та репродуктивних місць	1) ризики довічної самотності (випадіння з репродукції та соціальних систем) 2) потреби спеціалізованих міграцій, зокрема репродуктивних 3) потреба великих просторів і надмірно низька чисельність в малих просторах
Загалом плюси формують продуктивні позарепродуктивні статуси у періоди онтогенетичного і середовищного стазису	Загалом репродуктивні й суміжні (міграційні тощо) статуси, в умовах змін середовища або онтогенетичних станів

територій є недостатніми для існування стабільної популяції рисі або ведмеда.

Порушення солітарності. Солітарність може бути вимушеною і набутою, в кожному разі неприродною або надмірною. Такі стани можуть формуватися під дією низки чинників, передусім антропогенної природи: 1) при значному розрідженні популяцій, зокрема внаслідок надмірної їх експлуатації (полювання) або внаслідок погіршення умов існування з надмірною смертністю або наднизькою плідністю; 2) при фрагментації простору і порушеннях міграційних шляхів.

Останнє може суттєво трансформувати просторову структуру популяцій і унеможлиблювати взаємодії окремих особин, включно з проблемами формування шлюбних пар або сезонних зграй для колективних полювань.

Види, що існують в межах природно низької щільності можуть перейти у стан набутої солідарності внаслідок формально малих впливів першої і другої груп, різко набуваючи статусів вразливості або й загроженості в категоріях МСОП. Те саме важливо сказати про види на межах їхніх ареалів – вони при будь-якому погіршенні умов (першої або другої груп) автоматично потрапляють у стан набутої солідарності. Перебуваючи у таких станах, не зовсім природних для себе, види можуть проявляти нетипові форми поведінки, властиві для розріджених популяцій, включно з проявами агресії, спробами міжвидових парувань, різних блокуваннях репродуктивних функцій тощо.

Приклади солітарності стосовно фауни України. Приклади стосовно теріофауни України наведено в табл. 3. Очевидно, що головна вимога солітарників – надвеликі (з огляду на «людські» стандарти охорони природи) території вільного і спокійного їх проживання. І це повною мірою стосується і всієї групи великих хижих, і мустелових, і сліпаків. Тобто всіх тих, для яких ключовою вимогою є система великих індивідуальних ділянок, без їхнього перекриття. Передусім

це кормові ділянки, проте можуть бути і загалом територіями присутності, тобто індивідуальними поліфункціональними ділянками (кормові, репродуктивні, зони відпочинку).

Як ілюстрацію наведемо приклад з відносно дрібними видами ссавців з родини сліпакових (Spalacidae): для них допустимою з екоморфологічної точки зору є лише симпатрія між видами різних родів (Коробченко і Загороднюк, 2009). У сліпаків стан солітарності, попри його домінування упродовж більшої частини їхнього життя, не є постійним, він змінюється протягом року і надто у зв'язку з репродукцією, а в період розмноження і до переходу молоді до самостійного життя вони можуть жити сім'ями (Коробченко, 2022).

Як парадоксальний приклад можна згадати оцінку щільності «популяції» тхора степового (*Mustela eversmanni*) у заповіднику «Стрільцівський степ»: 1,9 ос. на 1000 га при площі заповідника 0,5 тис. га (Боровик, 1999), з чого слідує, що заповідник забезпечує існування лише 0,85 особини цього виду; про популяцію в заповіднику не може бути й мова.

Щодо інших груп хребетних тварин, передусім риб, амфібій і плазунів, скоріше мова має йти про незакономірну солітарність, яка пов'язана з дисперсією молодих (прибулих) як механізмом уникнення внутрішньовидової конкуренції (Begon et al., 1986). У птахів система подолання внутрішньовидової конкуренції значно більш складна, що визначається і поведінкою (надто в репродуктивний період), і життям у тривимірному просторі та вузькими біотопними спеціалізаціями. Понад те, у птахів скоріше можна говорити про різні системи соціалізації, яких існує велике різноманіття – від міграційних і зимівельних скупчень за колоніальних гніздувань (Siegel-Causey & Kharitonov, 1990). Виразну солітарність демонструють хіба що великі хижі птахи, розподіл яких по території є виразно дисперсним, надто у репродуктивний період.

Таблиця 3

Приклади солітарності у видів ссавців фауни України

Ряд	Приклади
Гризуні	незакономірно у великорозмірних вивірковидих (вивірки, бобрі); закономірно у землеривів родини сліпакових
Комахоїдні	кроті або їжаки в позарепродуктивний період
Кажани	самці нетопирів / пергачів у нерепродуктивний період
Хижі	вовки нетериторіальні; самці ведмеда / рисі в нерепродуктивний період; всі мустелові, а надто самці, в нерепродуктивний період
Унгуляти	жеребці без табуна (гарему); нерепродуктивні старі зубри

Суміжні поняття. Бродяжність. Існує декілька понять, які за своїм змістом близькі до «солітарності». Передусім це стосується всього комплексу ситуацій, які позначають термінами, подібними до «бродяжний» («бродячий», «волоцюжний»), а через нього – безпритульний, номадний тощо. Ці терміни є неусталеними в українській екологічній термінології. Так, «бродячий» має стосуватися таких видів (особин):

1) які знаходяться в постійному русі в усіх проявах своєї життєдіяльності та у зв'язку з цим часто ведуть усамітнений спосіб життя (їжаки, борсуки, мідії), а по суті є видами, що збирають поживу на великих площах;

2) які постійно змінюють свої місця перебування і по суті не є територіальними і не пов'язані взагалі чи більшу частину життя з якимись конкретними ділянками (видри, дельфіни, холості самці кажанів);

3) осторонь стоять випадки екстериторіальних і загублених особин, якими часто є молодь (прибулі) у стані розселення (дисперсії) від батьківських осередків або тварин, які втратили зграю;

4) які втратили людську опіку, тобто були (по суті й є) свійськими, проте залишилися без господаря, відбилися, вигнані; тобто мова йде про позначення особин, які перебувають у найвужчій зоні толерантності;

5) стабільні групи особин, що формуються зі здичавілих свійських, як у синантропних місцезнаходженнях (зграї вуличних псів), так і автономні групи у природі (здичавілі корови (Жила, 2025)).

Загальна лексика фіксує поняття «бродячих» на безпритульних хижих. Цей термін має свою історію, в англійській літературі він звучить як 'stray'; напр., 'stray dog' – безпритульні, а по суті вуличні пси. За (Cambridge Dictionary, 2026) термін тлумачиться як «кішка, собака тощо, які заблукали і не мають дому». Цей словник подає етимологію як: «stray(v.) – «заблукати, щодо тварин», «віддалитися від вольтера чи стада»; скорочення від старофранцузького *estraier* «блукати, бродити, дрейфувати, бігати без нагляду»; можливо, буквально «ходити вулицями», від *estree* «маршрут, шосе».

Інші визначення «бродячих»: За СУМ: «Бродячий, а, е. Який не живе на одному місці або не має постійного місця проживання. ... // Який постійно переходить з місця на місце; мандрівний. ... // Який має або виявляє схильність бродити, переходити з місця на місце» (СУМ..., 1970). За: (Загороднюк, 2023): «Бродячий (бродяжний,

мандрівний, кочовий, «волоцюга») – позначення особин, що не мають постійного місця мешкання, часто про спосіб життя (напр., нестатевозрілих особин), інколи позначення способу існування видів у цілому».

Якщо для першого тлумачення добре підходить саме «солітарний», то для другого – «вагрантний» (з англ. 'vagrant species') в розумінні мандрівний, кочовий. І лише для четвертої групи можна вживати усталений термін «бродячий» (як відповідник англ. *stray*). П'ята група – це вже нова якість, формування дикого типу, здичавілі, в нормі зграйні, не солітарні.

Фази «дикості» у здичавілих свійських хижих. Термін «здичавіння» в нормі адресують саме свійським хижим – псам і меншою мірою котам (Загороднюк, 2025). З різноманіття класифікацій сформовано три «фази» дикості: «1) СВВ, свійські на вільному виході; 2) БВВ, безгосподарні на вільному виході, або бродяжні пси; 3) ЗДП, здичавілі, або власне дикі пси – тварин, які пройшли процес одомашнення, але повернулися до дикого стану». Друга група є аналогом 'stray dogs' (бродяжних)».

Характеристика цієї групи така: «2. БВВ, безгосподарні на вільному виході, або бродяжні пси – пси, що знаходять поживу і притулки в населених пунктах, проте не були соціалізовані, а тому уникають людей. Вони є типовими коменсалами, пов'язані з місцями викидання органіки та іншими джерелами їжі. ... За СУМ, «Бродячий. Який не живе на одному місці або не має постійного місця проживання. ... мандрівний» (с. 108).

Набута солітарність і бродяжність як ознаки симбіозу. Розвиток бродяжності і вимушеної солітарності багатьох видів великих ссавців йде в умовах формування симбіозу (Albrecht, 2016), наступного за «антропоценом» стану розвитку екосистем, де присутність людей як фактична, так і через антропогенні фактори стає іманентною особливістю. Це означає всепроникну синантропію з усіма її наслідками, включно з фактичною залежністю (безправністю) всієї макробіоти, право на життя якої визначається винятково позицією людських суспільств і фактичними формами природокористування.

Значна частка диких і здичавілих свійських хижих має статус «бродячих», і чимало з них живуть поза людиною, проте біля людини. Поява в приміських парках рисей, а на сміттєзвалищах ведмедів стає такою ж нормою, як і зграї безпритульних псів у лісо-

парках чи виводки здичавілих котів у глибині заповідних масивів. Все це передусім стосується хижих.

Загалом можна говорити про те, що «бродяжність» як антропогенний варіант солітарності ставатиме дедалі частим явищем, а для частини видів – формою їх виживання. Всі види зі складу макрофауни в умовах фрагментації середовища все більше змушені переходити у статус жебраків, що живляться антропогенними кормами або й виживають на підгодовлі, умови якої змушуватимуть їх змінювати й просторову структуру їх популяцій, стратегію кормодобування, проходження життєвого циклу, вибір сховищ тощо.

У стосунку до макрофауни вихід лише один – створення великих заповідних територій (від 100 тис. га) з мінімальними господарськими впливами, системою контролю чисельності хижих та їхніх ресурсів, системою компенсацій за шкоду тощо. Те саме стосується й менших солітарних тварин, виживання яких так само залежить від наявності великих незайманих ділянок людини площ природних (або наближених до природного стану) екосистем. Альтернативи цьому немає. Або ці види будуть забезпечені місцем під сонцем, або всі емоції зооохоронників та плани дій із заробляння коштів на

збереженні раритетів залишаться формою «природоохорони» в режимі «занепокоєння».

Висновки

Поняття «солітарності» заслуговує на особливу увагу при вивченні екології, поширення і територіальності у багатьох груп, а надто представників макрофауни, передусім великорозмірних видів хребетних, зокрема й групи великих хижих ссавців. Поняття по суті є антонімом до соціальності.

Існує низка динамічних станів солітарності й соціальності, і солітарність часто розвивається з віком і, звісно, у позарепродуктивний період. Вона має всі можливі типи прояву – гендерні, вікові, сезонні, проте так само проявляється і в маргінальних типах місцезнаходжень.

У зв'язку з антропогенною руйнацією просторової структури багатьох видів тварин, надто екзантропів, високий рівень солітарності може бути ознакою порушення внутрішньовидових соціальних зв'язків і породжувати атипові форми поведінки, включно з депресивними станами та агресією.

Подяки

Дякуємо А. Бокотею та І. Мерзлікіну за обговорення представлених матеріалів, С. Жилі та Я. Довганичу за коментарі щодо прикладів із великими хижими, О. Гарбару за формування методичного блоку статті.

Список використаної літератури

- Боровик Е.Н. Чисельність рідкісних і зникаючих видів ссавців у Стрільцівському степовому заповіднику. *Вісник зоології*. 1999. Том 33 (4–5). С. 80.
- Бусел В.Т. (упоряд.). *Великий тлумачний словник сучасної української мови: 250 000 слів*. Том VIII. Перун, Київ, Ірпін, 2005. 1728 с.
- Велика Українська Енциклопедія. [Електронний ресурс]. URL: <https://vue.gov.ua/> (дата звернення 15.01.2026).
- Гончаренко Г.Е., Совгіра С.В. (ред.). *Словник-довідник сучасних екологічних та природоохоронних термінів*. Науковий світ, Київ, 2010. 67 с.
- Держинський М.Е., Скрипник Н.В., Вороніна О.К., Пазюк Л.М. *Біологія індивідуального розвитку. Частина І. Практичний посібник*. Київський університет, Київ, 2014. 271 с.
- Жила С. Здичавіла велика рогата худоба в Чорнобильському біосферному заповіднику. *Theriologia Ukrainica*. 2025. Том 29. С. 153–164. <http://doi.org/10.53452/TU2913>
- Загороднюк І. Закономірності розмірної диференціації видів і статей у багатовидовій гільдії. *Наукові записки ДПМ*. 2009. Том 25. С. 251–266.
- Загороднюк І. Природнича термінологія в описах змін біоти в умовах війни та бойових дій. *Світові виміри освітніх тенденцій*. 2023. Том 16. С. 30–41.
- Загороднюк І. Дикі пси (*Canis familiaris*) Голосіївського лісу. *Novitates Theriologicae*. 2025. Том 17. С. 107–118. <https://doi.org/10.53452/nt1720>
- Залевський В.Д., Бронсков О.І. (ред.). *Червона книга Донецької області: тваринний світ*. Вінницька обласна друкарня, Вінниця, 2017. 452 с.
- Коробченко М., Загороднюк І. Таксономія та рівні диференціації сліпаків (*Spalacidae*) фауни України і суміжних країн. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія*. 2009. Том 26. С. 13–26.
- Коробченко М.А., Загороднюк І.В., Ємельянов І.Г. Підземні гризуни як життєва форма ссавців. *Вісник ННПМ*. 2010. Том 8. С. 5–32.

- Коробченко М. Динаміка просторового розподілу, рийна діяльність та кормозапасання у сліпака східного (*Spalax microphthalmus*). *Theriologia Ukrainica*. 2022. Том 23. С. 110–129. <https://doi.org/10.15407/TU2311>
- Ліска, І.В. Поодинокі вогнищеві ураження легенів. *Туберкульоз, захворювання легенів, ВІЛ-інфекція*. 2022. Том 3 (50). С. 68–77. <https://doi.org/10.30978/TB2022-3-68>
- Мусієнко М.М., Серебряков В.В., Брайон О.В. *Екологія. Словник-довідник*. Либідь, Київ, 2024. 374 с.
- Озарків М.В. Нетипова поведінка ведмедя бурого (*Ursus arctos* Linnaeus, 1758) в умовах реабілітаційного центру диких тварин Галицького національного парку. *Функціонування природоохоронних територій в сучасних умовах*. Синевир, 2019. С. 68–82.
- СУМ... 1970. Бродяга. Білодід, І. К. (ред.). *Словник української мови: у 11 томах. Том 1 (А–Б)*. АН УРСР. Інститут мовознавства. Наукова думка, Київ, 1970. С. 238.
- Толстохов А.В. (ред.). *Екологічна енциклопедія: у 3 томах. Том 3: О–Я*. Центр екологічної освіти та інформації, Київ, 2008. 471 с.
- Albrecht G.A. Exiting the anthropocene and entering the symbiocene. *Minding Nature*. 2016. Vol. 9 (2). P. 14–16.
- Begon M., Harper J.L., Townsend C.R. 1986. *Ecology: Individuals, Populations and Communities*. Sunderland, Mass Inc. 876 p.
- Bennett N.C., Jarvis J.U.M. The reproductive biology of the Cape mole-rat, *Georchus capensis* (Rodentia, Bathyergidae). *Journal of zoology, London*. 1988a. Vol. 214, 95–106. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1988.tb04989.x>
- Bennett N.C., Jarvis J.U.M. The social structure and reproductive biology of colonies of the mole-rat, *Cryptotomys damarensis* (Rodentia, Bathyergidae). *Journal of Mammalogy*. 1988b. Vol. 69. P. 293–302. <https://doi.org/10.2307/1381379>
- Bennett N.C., Jarvis J.U.M., Aguilar G.H., McDaid E.J. Growth and development in six species of African mole-rats (Rodentia: Bathyergidae). *Journal of Zoology*. 1991. Vol. 225 (1). P. 13–26. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1991.tb03798.x>
- Bennett N.C., Gutmehr G.H., Faulkes C.G. The reproductive physiology and endocrinology of the African mole-rats. In: *Subterranean Rodents: News from Underground*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007. 61–78. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69276-8_6
- Cambridge Dictionary. [Electronic resource] URL: <https://dictionary.cambridge.org/uk/dictionary/english-ukrainian> (access date 15.01.2026).
- Gompper M.E. The dog-human-wildlife interface: assessing the scope of the problem. In: Gompper M.E. (ed.). *Free-Ranging Dogs and Wildlife Conservation*. Oxford University Press, 2013. 9–54. <https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199663217.003.0001>
- Kappeler P.M. A framework for studying social complexity. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 2019. Vol. 73, art. 13. <https://doi.org/10.1007/s00265-018-2601-8>
- Kull K. The biosemiotic concept of the species. *Biosemiotics*. 2016. Vol. 9 (1). P. 61–71. <https://doi.org/10.1007/s12304-016-9259-2>
- Makuya, L., Schradin, C. Costs and benefits of solitary living in mammals. *Journal of Zoology*, 2024. 323 (1). P. 9–18. <https://doi.org/10.1111/jzo.13145>
- Nowak S., Szweczyk M., Tomczak P., et al. Social and environmental factors influencing contemporary cases of wolf aggression towards people in Poland. *European Journal of Wildlife Research*. 2021. Vol. 67 (4). P. 69. <https://doi.org/10.1007/s10344-020-01455-1>
- Siegel-Causey D., Kharitonov S.P. The evolution of coloniality. *Current Ornithology*. 1990. Vol. 7. P. 285–330.
- Smith A.F., Kasper K., Lazzeri L., et al. Reduced human disturbance increases diurnal activity in wolves, but not Eurasian lynx. *Global Ecology and Conservation*. 2024. Vol. 53. Art e02985. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e02985>

References

- Borovyk, E.N. (1999). Chyselnist ridkisnykh i znykayuchykh vydiv ssavtsiv u Striltsivskomu stepovomu zapovidnyku [The abundance of rare and endangered mammal species in the Striltsivskyi steppe reserve]. *Visnyk zoolohii [Herald of Zoology]*, 33(4–5), p. 80 [in Ukrainian].
- Busel, V.T. (ed.) (2005). Velykyi tlumachnyi slovnyk suchasnoi ukrainskoi movy: 250 000 sliv [Large explanatory dictionary of the modern Ukrainian language: 250,000 words] (Vol. VIII). Perun, Kyiv, Irpin [in Ukrainian].

Velyka Ukrainska Entsyklopediia [Great Ukrainian Encyclopedia]. [Electronic resource] URL: <https://vue.gov.ua/> (access date 15.01.2026) [in Ukrainian].

Honcharenko, H.E., & Sovhira, S.V. (eds.) (2010). Slovník-dovidník súčasnykh ekolohichnykh ta pryrodookhoronnykh terminiv [Dictionary-reference book of modern ecological and environmental terms]. Naukovyi svit, Kyiv [in Ukrainian].

Dzerzhynskiy, M.E., Skrypnyk, N.V., Voronina, O.K., & Paziuk, L.M. (2014). Biologhiia individualnoho rozvytku. Chastyna I. Praktychnyi posibnyk [Biology of individual development. Part I. Practical guide]. Kyivskiy universytet, Kyiv [in Ukrainian].

Zhyla, S. (2025). Zdychavila velyka rohata khudoba v Chornobylskomu biosfernomu zapovidnyku [Feral cattle in the Chernobyl Biosphere Reserve]. *Theriologia Ukrainica*, 29, 153–164. <http://doi.org/10.53452/TU2913> [in Ukrainian].

Zagorodniuk, I. (2009). Zakonomirnosti rozmirnoi dyferentsiatsii vydiv i statei u bahatovydrovii hildii [Regularities in size differentiation of species and sexes in a multispecies guild]. *Naukovi zapysky DPM [Scientific notes of the State Natural History Museum]*, 25, 251–266 [in Ukrainian].

Zagorodniuk, I. (2023). Pryrodnycha terminolohiia v opysakh zmin bioty v umovakh viiny ta boiovykh dii [Natural history terminology in descriptions of biota changes in war and hostilities]. *Svitovi vymiry osvity tendentsii [World dimensions of educational tendencies]*, 16, 30–41 [in Ukrainian].

Zagorodniuk, I. (2025). Dyki psy (*Canis familiaris*) Holosiivskoho lisu [Feral dogs (*Canis familiaris*) in the Holosiivskiy Forest (Kyiv)]. *Novitates Theriologicae*, 17, 107–118. <https://doi.org/10.53452/nt1720> [in Ukrainian].

Zalevskiy, V.D., & Bronskov, O.I. (eds) (2017). Chervona knyha Donetskoï oblasti: tvarynnyi svit [Red Data Book of Donetsk region: animal world]. Vinnytska oblasna drukarnia, Vinnytsia [in Ukrainian].

Korobchenko, M., & Zagorodniuk, I. (2009). Taksonomiia ta rivni dyferentsiatsii slipakiv (Spalacidae) fauny Ukrainy i sumizhnykh krain [Taxonomy and levels of differentiation in mole-rats (Spalacidae) of the fauna of Ukraine and adjacent countries]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Serii Biologhiia [Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series Biology]*, 26, 13–26 [in Ukrainian].

Korobchenko, M.A., Zagorodniuk, I.V., & Emelyanov, I.G. (2010). Pidzemni hryzuny yak zhyttieva forma ssavtsiv [Underground rodents as a life type of mammals]. *Visnyk NNPM [Proceedings of the National Museum of Natural History]*, 8, 5–32 [in Ukrainian].

Korobchenko, M. (2022). Dynamika prostorovoho rozpodilu, ryina diialnist ta kormozapasannia u slipaka skhidnoho (*Spalax microphthalmus*) [Dynamics of spatial distribution, burrowing activity, and foraging in the greater blind mole rat (*Spalax microphthalmus*)]. *Theriologia Ukrainica*, 23, 110–129. <https://doi.org/10.15407/TU2311> [in Ukrainian].

Liskina, I.V. (2022). Poodynoki vohnyshchevi urazhennia leheniv [Solitary focal lung lesions]. *Tuberkuloz, zakhvoriuvannia leheniv, VIL-infektsiia [Tuberculosis, Lung Diseases, HIV Infection]*, 3(50), 68–77. <https://doi.org/10.30978/TB2022-3-68> [in Ukrainian].

Musiienko, M.M., Serebriakov, V.V., & Braion, O.V. (2024). Ekologhiia. Slovník-dovidník [Ecology. Dictionary-reference book]. Lybid, Kyiv [in Ukrainian].

Ozarkiv, M.V. (2019). Netypova povedinka vedmedia buroho (*Ursus arctos* Linnaeus, 1758) v umovakh rehabilitatsiinoho tsentru dykykh tvaryn Halytskoho natsionalnoho parku [Atypical behavior of the brown bear (*Ursus arctos* Linnaeus, 1758) in the conditions of the wild animal rehabilitation center of the Halych National Park]. *Funktsionuvannia pryrodookhoronnykh terytorii v suchasnykh umovakh [Functioning of protected areas in modern conditions]*. Synevyr, pp. 68–82 [in Ukrainian].

Bilodid, I.K. (ed.) (1970). Slovník ukrainskoi movy: u 11 tomakh [Dictionary of the Ukrainian language: in 11 volumes] (Vol. 1: A–B). AN URSS, Instytut movoznavstva. Naukova dumka, Kyiv, p. 238 [in Ukrainian].

Tolstokhov, A.V. (ed.) (2008). Ekologichna entsyklopediia: u 3 tomakh [Ecological Encyclopedia: in 3 volumes] (Vol. 3: O–Ya). Tsentr ekolohichnoi osvity ta informatsii, Kyiv [in Ukrainian].

Albrecht, G.A. (2016). Exiting the anthropocene and entering the symbiocene. *Minding Nature*, 9(2), 14–16 [in English].

Begon, M., Harper, J.L., & Townsent, C.R. (1986). Ecology: Individuals, Populations and Communities. Sunderland, Mass Inc [in English].

Bennett, N.C., & Jarvis, J.U.M. (1988a). The reproductive biology of the Cape mole-rat, *Georchus capensis* (Rodentia, Bathyergidae). *Journal of Zoology*, London, 214, 95–106. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1988.tb04989.x> [in English].

Bennett, N.C., & Jarvis, J.U.M. (1988b). The social structure and reproductive biology of colonies of the mole-rat, *Cryptomys damarensis* (Rodentia, Bathyergidae). *Journal of Mammalogy*, 69, 293–302. <https://doi.org/10.2307/1381379> [in English].

Bennett, N.C., Jarvis, J.U.M., Aguilar, G.H., & McDaid, E.J. (1991). Growth and development in six species of African mole-rats (Rodentia: Bathyergidae). *Journal of Zoology*, 225(1), 13–26. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1991.tb03798.x> [in English].

Bennett, N.C., Gutjahr, G.H., & Faulkes, C.G. (2007). The reproductive physiology and endocrinology of the African mole-rats. In: *Subterranean Rodents: News from Underground*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 61–78. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69276-8_6 [in English].

Cambridge Dictionary. [Electronic resource] URL: <https://dictionary.cambridge.org/uk/dictionary/english-ukrainian> (access date 15.01.2026) [in English].

Gompper, M.E. (2013). The dog–human–wildlife interface: assessing the scope of the problem. In: Gompper, M.E. (ed.). *Free-Ranging Dogs and Wildlife Conservation*. Oxford University Press, pp. 9–54. <https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199663217.003.0001> [in English].

Kappeler, P.M. (2019). A framework for studying social complexity. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 73, art. 13. <https://doi.org/10.1007/s00265-018-2601-8> [in English].

Kull, K. (2016). The biosemiotic concept of the species. *Biosemiotics*, 9(1), 61–71. <https://doi.org/10.1007/s12304-016-9259-2> [in English].

Makuya, L., & Schradin, C. (2024). Costs and benefits of solitary living in mammals. *Journal of Zoology*, 323(1), 9–18. <https://doi.org/10.1111/jzo.13145> [in English].

Nowak, S., Szewczyk, M., Tomczak, P., et al. (2021). Social and environmental factors influencing contemporary cases of wolf aggression towards people in Poland. *European Journal of Wildlife Research*, 67(4), p. 69. <https://doi.org/10.1007/s10344-020-01455-1> [in English].

Siegel-Causey, D., & Kharitonov, S.P. (1990). The evolution of coloniality. *Current Ornithology*, 7, 285–330 [in English].

Smith, A.F., Kasper, K., Lazzeri, L., et al. (2024). Reduced human disturbance increases diurnal activity in wolves, but not Eurasian lynx. *Global Ecology and Conservation*, 53, art. e02985. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e02985> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 09.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 16
Український журнал природничих наук
№ 16

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 528. 854.4.630.43

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.31>

ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗМІРУ САНІТАРНО-ЗАХИСНОЇ ЗОНИ ПРОММАЙДАНЧИКА З ВИПАЛЮВАННЯ ДЕРЕВНОГО ВУГІЛЛЯ (ТОВ «ЕКОКАРБЕКС» СЕЛО РАДИЧІ ЖИТОМИРСЬКОГО РАЙОНУ) З УРАХУВАННЯМ ОБМЕЖЕНЬ

Т. М. Коткова¹, Ю. С. Шелюк², І. Ф. Карась³

У статті обґрунтовано розміри санітарно-захисної зони навколо промислового майданчика підприємства з випалювання деревного вугілля ТОВ «ЕкоКарбекс», що відноситься до 2 класу небезпеки з нормативною санітарно-захисною зоною (СЗЗ) 500 м, у відповідності до додатку №4 ДСП 173-96. Дані дослідження були частиною проекту оцінки впливу на довкілля (ОВД) виробничої діяльності товариства з обмеженою відповідальністю ТОВ «ЕкоКарбекс», що розташоване на колишньому майданчику машинно-тракторного парку колишнього колгоспу в с. Радичі Житомирського району (до укрупнення – Хорошівського).

Оскільки виробництво деревного вугілля завжди супроводжується викидами шкідливих речовин, то санітарно-захисна зона мала б бути максимальною з екологічної точки зору, а саме такою, щоб захистити прилеглі угіддя і найголовніше житла і самих мешканців с. Радичі від надходження токсикантів.

Однак, санітарно-захисна зона (СЗЗ) – це не лише захист від небезпечних сполук, а й з точки зору землепорядкування – зона обмеження. В цій зоні, згідно чинного українського законодавства, не можна розміщувати певні категорії земель, в першу чергу землі сільськогосподарського призначення різних форм власності.

Однак, згідно вище згаданого ДСП 173-96 п.5.7, розмір санітарно-захисної зони може бути зменшений, якщо забруднення від діяльності підприємства не досягають нормативних 500 м, або у випадку, коли забруднення значно менші гранично допустимих концентрацій.

Згідно географічного розташування досліджуваного підприємства, агрокліматичної характери-

¹ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри геодезії та землеустрою
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: tetjana.kotkova@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1785-7620

² доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри ботаніки, біоресурсів і збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Shelyuk_Yulya@ukr.net
ORCID: 0000-0001-6429-1028

³ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри геодезії та землеустрою
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: iraver@ukr.net
ORCID: 0000-0001-6958-3636

стики території, в тому числі напряму переважаючих вітрів, його санітарно-захисна зона може бути зменшена без порушення законодавства.

У ході досліджень встановлено, що нормативна циркулярна зона 500 м навколо майданчика з випалювання деревини ТОВ «ЕкоКарбекс», площа ділянки 79,357 га може бути зменшена в східному напрямку від об'єкту до 270 м, у південно-східному напрямку – до 280 м, у південному – до 330 м, північному – 400 м.

Ключові слова: санітарно-захисна зона, гранично допустимі концентрації, майданчик із випалювання деревини, довкілля, забруднення.

JUSTIFICATION OF THE SIZE OF THE SANITARY PROTECTION ZONE OF THE CHARCOAL BURNING SITE OF ECOCARBEX LLC, RADYCHI VILLAGE, ZHYTOMYR DISTRICT, TAKING INTO ACCOUNT THE LIMITATIONS

T. M. Kotkova, Yu. S. Shelyuk, I. F. Karas

The article substantiates the dimensions of the sanitary protection zone around the industrial site of the charcoal burning enterprise LLC "EcoCarbex", which belongs to the 2nd hazard class with a regulatory sanitary protection zone (SPP) of 500 m, in accordance with Appendix No. 4 of the DSP 173-96. These studies were part of the environmental impact assessment (EIA) project of the production activities of the limited liability company LLC "EcoCarbex", located on the former site of the machine and tractor park of the former collective farm in the village of Radychi, Zhytomyr district (before consolidation – Khoroshiv district).

Since the production of charcoal is always accompanied by emissions of harmful substances, the sanitary protection zone should be maximum from an ecological point of view, namely such as to protect the adjacent lands and, most importantly, housing and the residents of the village of Radychi from the ingress of toxicants.

However, the sanitary protection zone (SPP) is not only protection from hazardous compounds, but also, from the point of view of land management, a restriction zone. In this zone, according to current Ukrainian legislation, certain categories of land cannot be located, primarily agricultural land of various forms of ownership.

However, according to the above-mentioned DSP 173-96, p.5.7, the size of the sanitary protection zone may be reduced if pollution from the activities of the enterprise does not reach the regulatory 500 m, or in the case when pollution is significantly lower than the maximum permissible concentrations.

According to the geographical location of the enterprise under study, the agro-climatic characteristics of the territory, including the direction of the prevailing winds, its sanitary protection zone may be reduced without violating the legislation.

During the research, it was established that the regulatory circular zone of 500 m around the wood burning site of EcoCarbex LLC, the area of the site of 79,357 hectares, can be reduced in the eastern direction from the facility to 270 m, in the southeastern direction – to 280 m, in the southern – to 330 m, and in the northern – 400 m.

Key words: sanitary protection zone, maximum permissible concentrations, wood burning site, environment, pollution.

Вступ

Санітарно-захисна зона у землепорядкуванні – це особлива територія обмежень, в межах якої заборонене розташування деяких категорій земель, оскільки самі СЗЗ проєктуються навколо промислових підприємств або інших шкідливих виробництв задля зменшення надходження шкідливих речовин у повітря населених пунктів та потрапляння до вод та продуктів харчування (Про затвердження..., 2012; Про охорону..., 2023).

Виробництво деревного вугілля завжди супроводжується викидами у довкілля

шкідливих речовин (Belay et al., 2024; Mencarelli et al., 2025). Звісно, найгіршим варіантом технології його отримання є випалювання у металевих бочках. Досліджуване нами підприємство використовує печі серії «ЕККО-2», що виготовляються згідно ТУ У 29.2-31827320-001 2005, які значно менше впливають на стан довкілля, але все ж підприємство по виготовленню деревного вугілля ТОВ «ЕкоКарбекс» досить шкідливе і відноситься до 2 класу небезпеки з нормативною санітарно-захисною зоною (СЗЗ) 500 м, у відповідності

до додатку №4 ДСП 173-96 (Про затвердження..., 1996).

Компоненти, що містяться у піролізному газі, а також шумове та теплове забруднення, без сумніву, завдають шкоди довкіллю (Моніторинг..., 2012; Про внесення ..., 2022; García-Quezada et al., 2025). Захищає від таких впливів санітарно-захисна зона (СЗЗ), яка складається, як правило, із зелених насаджень і виконує функцію перехоплення і очищення від шкідливих компонентів. Для кожного виду виробництва є науково-обґрунтовані нормативні розміри санітарно-захисної зони. Згідно з Державними санітарними правилами планування і забудови населених пунктів ДСП-173-96 та Державних будівельних норм для виробництв по випалюванню деревного вугілля нормативна СЗЗ становить 500 м (Про затвердження..., 1996; Державні ..., 2019).

Однак, в багатьох випадках, в залежності від кількості реальних викидів, шумового та теплового випромінювання, якщо їх рівень відповідає гігієнічним регламентам, така зона може бути зменшена (Гігієнічні ..., 2021).

Матеріал і методи

Об'єктом досліджень був виробничий майданчик із випалювання деревного вугілля та земельна ділянка навколо нього в межах нормативної санітарно-захисної зони – 500 м. Методи дослідження: аналіз нормативно-правових документів, польові геодезичні роботи із встановлення меж земельної ділянки, обробка картографічного матеріалу за допомогою ліцензованої програми Digitals, ретроспективний та поточний аналіз картографічного матеріалу.

Результати досліджень та їх обговорення

Обґрунтування розміру санітарно-захисної зони в кожному конкретному випадку вимагає індивідуального підходу, враховуючи конкретні викиди від всіх джерел забруднення підприємства, класу забруднювачів досліджуваного об'єкту, підстилаючої поверхні промайданчика, переважаючого напрямку вітрів, цільового використання земельних ділянок, що розташовані в цій зоні та ін (Про землеустрій ..., 2003; Державні ..., 2014; Про забезпечення ..., 1994; Про затвердження ..., 2010).

Виробничий майданчик, що відводиться під розташування піролізних печей, раніше вже використовувався (в минулому майданчик машинно-тракторного стану СТОВ «Радичі»). Основна виробнича діяльність ТОВ «ЕкоКарбекс» – виробництво деревного вугілля.

Територія підприємства частково огорожена парканом, впорядкована на в'їзді-виїзді. Межі майданчика закріплені межовими знаками в кількості 5 шт., що відповідає інструкції щодо їх встановлення (Інструкція ..., 2010). Сам майданчик вирівняний, має ухили не більше 30°. Перед зміною профілю майданчика було проведено топографічну зйомку відповідно до затвердженої інструкції, основні вимоги якої підпорядковуються Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» (Про затвердження ..., 1998; Про топографо-геодезичну ..., 1999).

На проїздах і площадках в місцях можливого забруднення влаштоване тверде насипне покриття, що запобігає забрудненню ґрунту. На територіях, вільних від забудови та твердого покриття (проїзди, склади тощо), ростуть дерева, кущі. У районі розташування земельної ділянки підприємства відсутні території охоронних зон, курортів, санаторіїв, місць громадського та культурного відпочинку, будинків відпочинку, лікувальних установ.

Підприємство межує:

- із півночі та заходу – землі запасу;
- із півдня – землі загального користування (вулиця місцевого значення);
- із заходу – землі тракторного стану, землі комунальної власності.

Найближчі житлові забудови розташовані на відстані 270 м в східному напрямку (вул. Молодіжна, 6), 280 м в південно-східному напрямку (вул. Лесі Українки, 1), 330 м в південному напрямку (вул. Лесі Українки, 2).

На рисунку 1 зображені найближчі споруди житлової забудови, що розташовані в межах нормативної СЗЗ (відстань – від найближчого джерела викиду). Розташування та межі промислового майданчика по випалюванню деревного вугілля ТОВ «Екокарбекс» на кадастровій карті наведені на рисунку 2.

В українському законодавстві закріплено, що «...Розміри санітарно-захисних зон та санітарних розривів від сільськогосподарських підприємств і виробничих комплексів слід приймати відповідно до вимог законодавства та ДБН Б.2.2-12:2019 "Планування і забудова територій", однак не встановлено форму СЗЗ для кожного конкретного підприємства, що продукує забруднювачі.

Як вже було сказано вище, нормативна СЗЗ, враховуючи специфіку підприємства, має становити 500 м. Однак, ні в уже згаданих санітарних нормах і правилах, ні в інших нормативних документах, не уточ-



Рис. 1. Джерела викидів виробничого майданчика з випалювання деревини ТОВ «ЕкоКарбекс» (с. Радичі Житомирського району Житомирської області)



Рис. 2. Розташування промислового майданчика з випалювання деревного вугілля ТОВ «Екокарбекс» на кадастровій карті

нено, якої форми має бути ця санітарно-захисна зона. Але, якщо ця СЗЗ велика, то, скоріше за все, це зона обмеженого використання земель, з центром посеред виробничого майданчика. Тоді це коло з площею ділянки 79, 357 га (рис. 3).

Однак, згідно п.5.7 ДСП 173-96 розмір санітарно-захисної зони може бути зменшений, якщо забруднення від діяльності підприємства не досягають нормативних 500 м, або у випадку, коли забруднення значно менші гранично допустимих концентрацій.

Проведений розрахунок забруднення атмосферного повітря показав, що вплив на межі санітарно-захисної зони, а також на найближчих житлових забудовах, що розташовані в межах нормативної СЗЗ, нижче рівня гранично допустимих концентрацій (НДК) та орієнтовно безпечних рівнів впливу (ОБРВ) атмосферного повітря населених місць за всіма забруднюючими речовинами, на всіх розрахункових точках, із врахуванням фонових концентрацій, що встановлені у відповідності до законодавства, становив долі (частки) ГДК. Це стало підставою для встановлення розрахункової санітарно-захисної зони.

Місця розташування джерел забруднення на промайданчику, що позначені на рис. 1 та генеральному плані (рис. 4), слугували «відправними точками» для розрахунку забруднень.

Комплекс будівель і споруд №16, буд 5

Відповідно до пункту 5.10 ДСП 173-96 у санітарно-захисних зонах не можна допускати розміщення:

- житлових будинків із прибудинковими територіями, гуртожитків, готелів, будинків для приїжджих, аварійних селищ. Не допускається використання для вирощування сільськогосподарських культур, пасовищ для худоби, земель санітарно-захисної зони підприємств, що забруднюють навколишнє середовище високотоксичними речовинами та речовинами, що мають віддалену дію (солі важких металів, канцерогенні речовини, діоксини, радіоактивні речовини та ін.).

За допомогою програми DigitalS нами проаналізовано кількісний склад земель, форму власності, конфігурацію та цільове призначення земельних ділянок, що розташовані в межах санітарно-захисної зони підприємства. В межах нормативної СЗЗ, яка для підприємства по випалюванню деревного вугілля має форму кола, розташовуються земельні ділянки різного цільового призначення та форми власності.

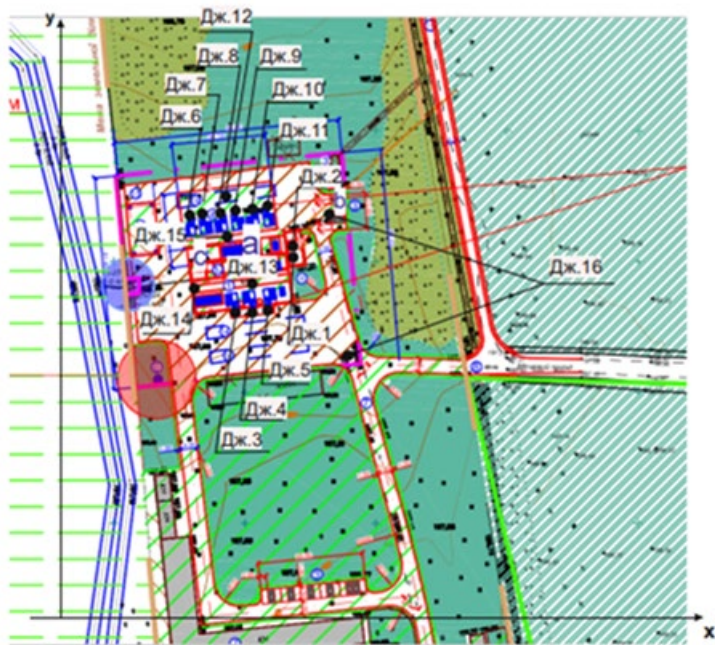


Рис. 3. Промисловий майданчик підприємства по випалюванню деревного вугілля ТОВ «Екокарбекс» з нормативною санітарно-захисною зоною 500 м. Площа ділянки 79,357 га

Серед них ділянка приватної форми власності (пай), що має кадастровий номер 1821183800:07:002:0282, яка належить до категорії земель сільськогосподарського призначення,

цільове призначення – для ведення товарного сільськогосподарського виробництва (рис. 5).

Крім цієї ділянки розташовані також і інші, зокрема земельна ділянка комуналь-



М 1:1500

Рис. 4. Генеральний план розташування джерел викидів на території підприємства

Примітка: Експлікація джерел викиду: Дж.1, 2 – дрововал, Дж.3-11 – труба вуглевипалювальної печі типу Екко-2, Дж.12-13 – місце вигризки вугілля з вагонеток, Дж.14 – труба дизельгенератора, Дж.15 – витяжна труба лабораторії, Дж.16 – рух автотранспорту. Експлікація будівель та споруд: а – виробничі приміщення, б – стоянка автотранспорту, с – адміністративні приміщення.

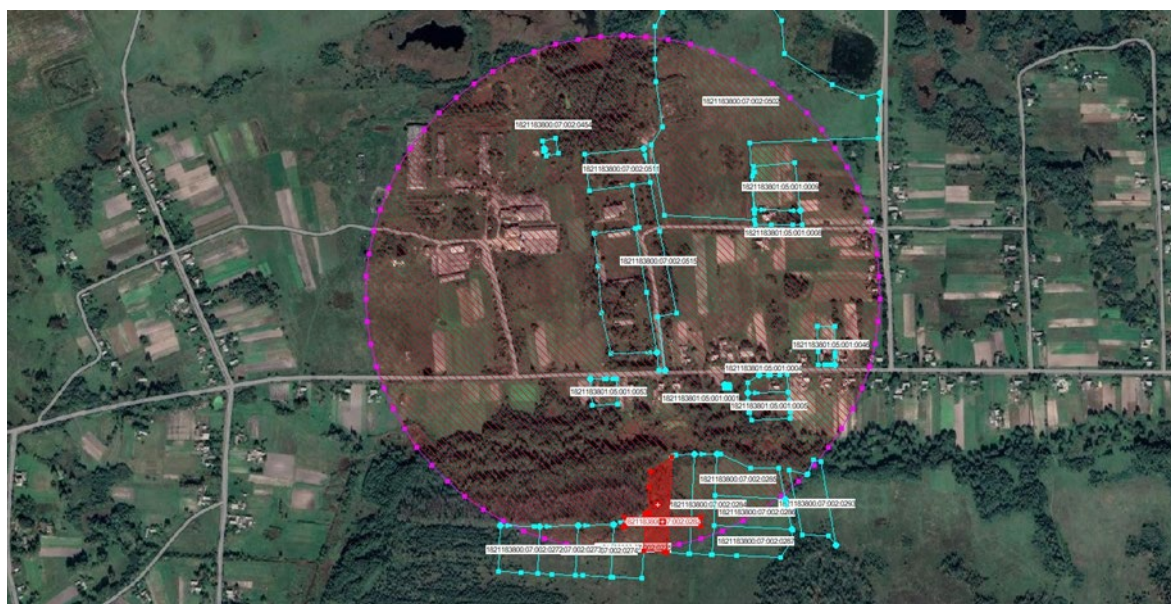


Рис. 5. Земельна ділянка сільськогосподарського призначення (код 01.01) для ведення товарного сільськогосподарського виробництва, що знаходиться у санітарно-захисній зоні ТОВ «ЕкоКарбекс». Площа 0,742 га

ної форми власності, цільового призначення 16.00, що належить до категорії земель сільськогосподарського призначення, вид використання – землі запасу. Площа її 11,641 га, кадастровий номер 1821183800:07:002:0502 (рис. 6).

Поруч біля цієї ділянки цілком в межах санітарно-захисної зони ТОВ «ЕкоКарбекс» знаходиться ділянка приватної форми

власності, площею 0,75 га, що належить до категорії земель сільськогосподарського призначення, цільове призначення 01.03 – для ведення особистого селянського господарства. Кадастровий номер ділянки 1821183801:05:001:0009 (рис. 7).

Ділянки такої категорії та цільового призначення можуть бути розташовані у СЗЗ, проте їхнє використання суттєво

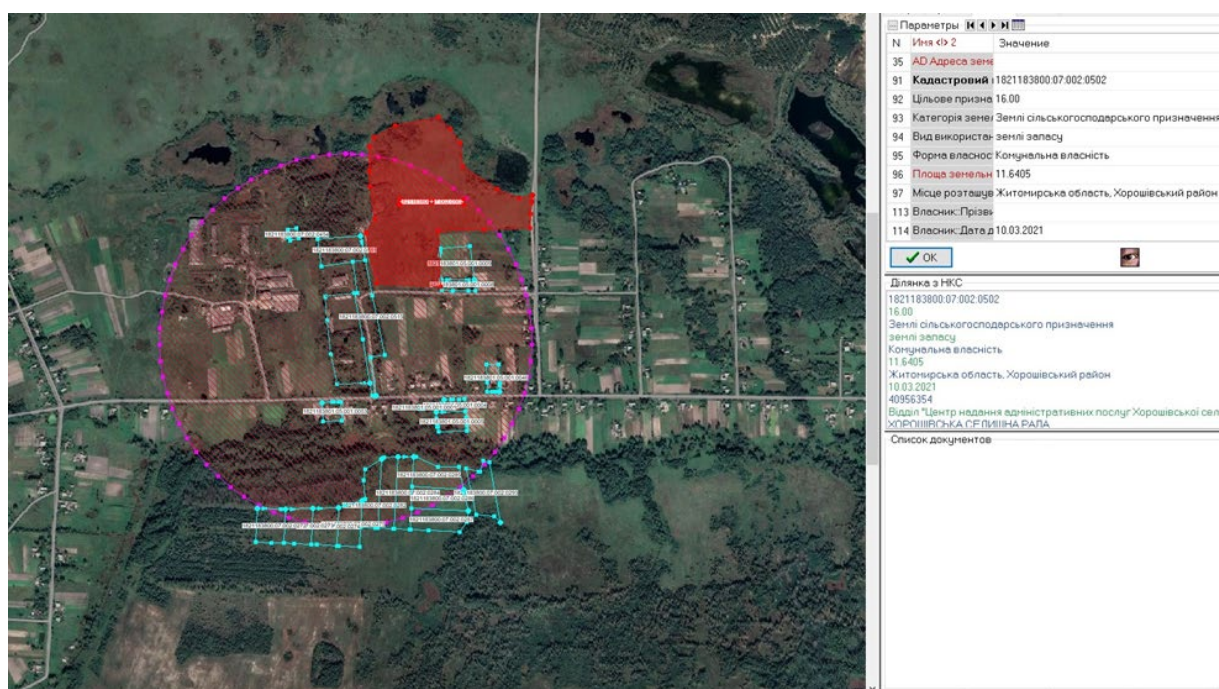


Рис. 6. Земельна ділянка сільськогосподарського призначення (код 16.00 – землі запасу), комунальної форми власності, що частково знаходиться у санітарно-захисній зоні ТОВ «ЕкоКарбекс». Площа 11,641 га

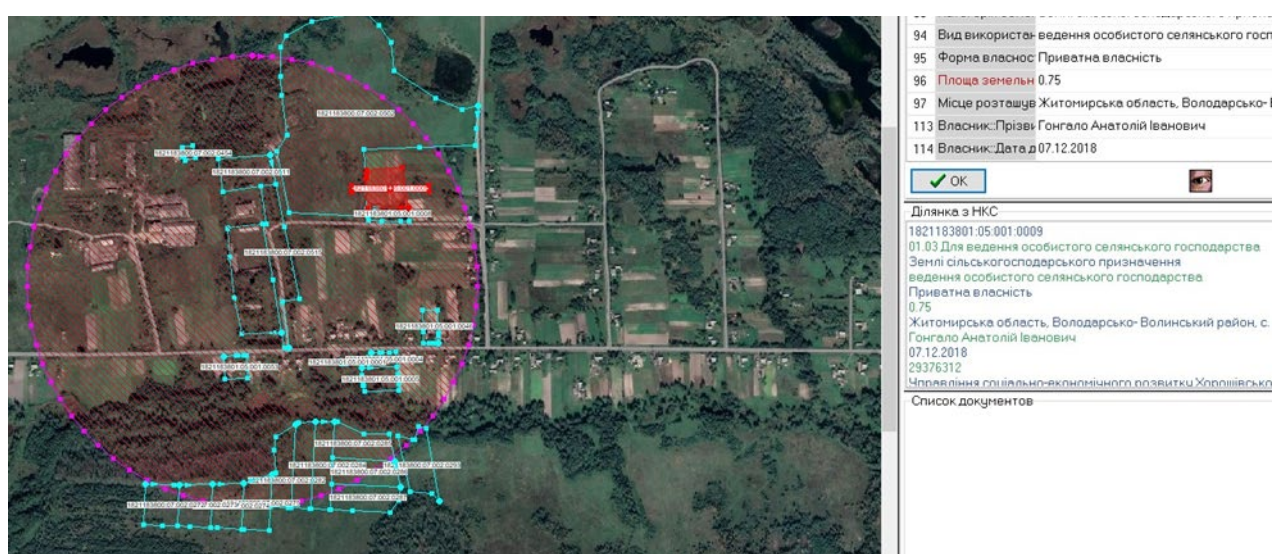


Рис. 7. Земельна ділянка сільськогосподарського призначення (код 01.03 – для ведення особистого селянського господарства), приватної форми власності, що повністю знаходиться у санітарно-захисній зоні ТОВ «ЕкоКарбекс». Площа 0,75 га

обмежене. У межах СЗЗ заборонено розмішувати житлові будинки та вирощувати продукцію, що буде безпосередньо вживатися в їжу, через ризики забруднення, хоча дозволено технічні культури чи зелені насадження.

Західніше від ділянки земель запасу знаходиться ще одна ділянка приватної форми власності, площею 0,82 га, що належить до категорії земель сільськогосподарського призначення, цільове призначення 01.03 – для ведення особистого селянського

господарства. Кадастровий номер ділянки 1821183801:07:002:0511 (рис. 8).

Із східного боку від виробничого майданчика ТОВ «ЕкоКарбекс», впритул до ділянки підприємства, знаходиться земельна ділянка комунальної форми власності площею 1,279 га, що належить до категорії земель сільськогосподарського призначення, цільове призначення 01.01 – для ведення товарного сільськогосподарського виробництва. Кадастровий номер ділянки 1821183801:07:002:0515 (рис. 9).



Рис. 8. Земельна ділянка сільськогосподарського призначення (код 01.03 – для ведення особистого селянського господарства), приватної форми власності, що повністю знаходиться у санітарно-захисній зоні ТОВ «ЕкоКарбекс». Площа 0,82 га

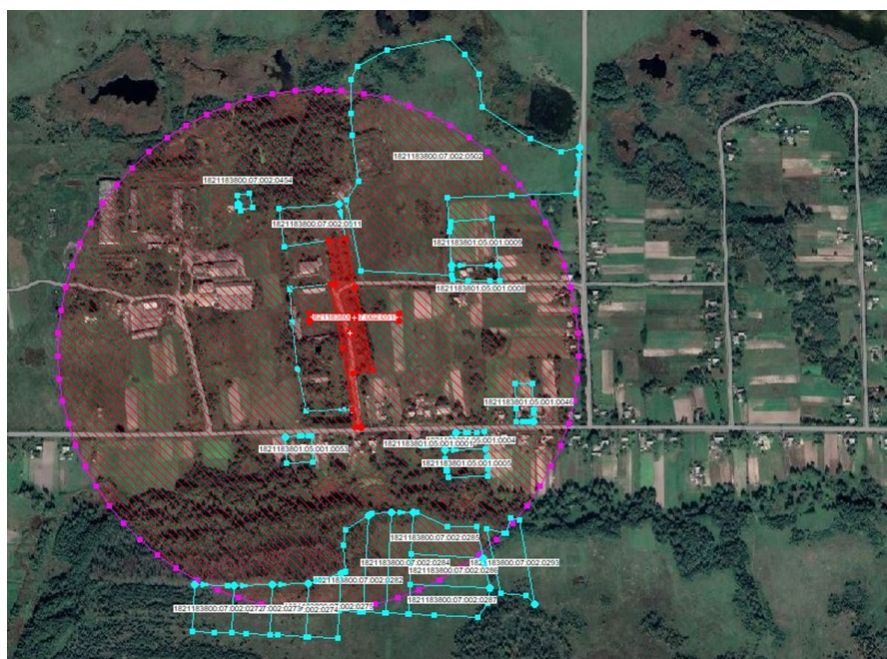


Рис. 9. Земельна ділянка сільськогосподарського призначення (код 01.01 – для ведення товарного сільськогосподарського виробництва), комунальної форми власності, що повністю знаходиться у санітарно-захисній зоні ТОВ «ЕкоКарбекс». Площа 1,279 га

Всього в санітарно-захисній зоні ТОВ «ЕкоКарбекс» повністю чи частково знаходиться 22 земельні ділянки різної форми власності та різного цільового призначення.

Розташування цих ділянок в санітарно-захисній зоні підприємства по випалюванню деревного вугілля не суперечить пункту 5.10 Державних санітарних правил планування і забудови населених пунктів (ДСП-173-96).

На поверхневі та підземні води діяльність підприємства також не впливає. Для запобігання впливу на поверхневі і підземні води виконане тверде покриття території. На ґрунти діяльність підприємства з випалювання деревного вугілля так само не впливає. Родючий шар ґрунту відсутній. Для зменшення впливу на ґрунти передбачається тверде покриття проїздів та майданчиків, утворені відходи утилізуються згідно з укладеними договорами та ін. Соціальне середовище функціонування досліджуваного об'єкту в даному місці не створить погіршення умов проживання населення, так як негативний вплив його на навколишнє середовище – незначний.

Відповідно до проведених розрахунків ризик впливу даної діяльності на здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря вкрай малий. На кількісний і якісний склад

флори діяльність підприємства не впливає, оскільки вона вже трансформована та представлена видами, що не мають екологічної чи біологічної цінності через тривалу попередню експлуатацію даного майданчика колишнім СТОВ і ще раніше колгоспу. Знесення зелених насаджень не передбачається.

На видове різноманіття фауни та техногенне середовище промайданчик із випалювання деревного вугілля ТОВ «Екокарбекс» не впливає.

Виходячи з вищезгаданого, діяльність об'єкту чинить незначний вплив на компоненти навколишнього природного середовища та позитивно впливає на соціальну сферу регіону, забезпечуючи місцеве населення робочими місцями.

Враховуючи фактичну кількість та склад забруднювачів, а також напрямок переважаючих вітрів, розраховано фактичну санітарно-захисну зону, зображення якої наведено на рис. 10.

Фактична (розрахована) санітарно-захисна зона має значно меншу площу від нормативної, але при цьому, враховуючи переважаючі напрямки вітрів, досліджуване підприємство по випалюванню деревного вугілля не чинитиме згубного впливу на ділянки, що знаходяться за її межами. Одночасно це скасує обмеження з сусідніх



Рис. 10. Розрахована санітарно-захисна зона промислового майданчика підприємства по випалюванню деревного вугілля ТОВ «Екокарбекс». Площа ділянки 31,217 га

земельних ділянок, що не потрапили в фактичну СЗЗ на відміну від нормативної.

Висновки

Враховуючи вище викладене в даній статті, на підставі отриманих результатів, які не перевищують чинних гігієнічних нормативів, керуючись п.п. 5.7., 5.9.

ДСП №173-96, вважаємо за можливе рекомендувати нормативну санітарно-захисну зону у розмірі 500 м по всіх румбах із частковим скороченням в східному напрямку від об'єкту до 270 м, у південно-східному напрямку – до 280 м, у південному – до 330 м, північному – 400 м.

Список використаної літератури

Гігієнічні регламенти орієнтовно безпечних рівнів впливу хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 08.10.2021 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0157-20> (дата звернення: 10.02.2026).

Державні будівельні норми України. Планування та забудова територій. ДБН. Б.2.2-12:2019. Київ: Мінрегіонбуд України, 2019. 185 с.

Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами): Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 07.08.2014 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97> (дата звернення: 10.02.2026).

Інструкція про встановлення (відновлення) меж земельних ділянок в натурі (на місцевості) та їх закріплення межовими знаками : затв. наказом Держ. комітету України із земельних ресурсів від 18.05.2010 р. № 376 (із змінами). [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0391-10>. (дата звернення: 07.02.2026).

Моніторинг довкілля : підручник / Запольський А. К., Войцицький А. П., Пількевич та ін.; за заг. ред. А. К. Запольського. Кам'янець-Подільський : Медобори-2006, 2012. Т. 1. 408 с.

Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення механізму регулювання викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря : Закон України від 09 липня 2022 р. № 2393-IX. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2393-20#Text> (дата звернення: 07.02.2026).

Про забезпечення Санітарного та епідеміологічного благополуччя населення: Закон України від 24.02.1994 р. № 4004-XII. [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12>. (дата звернення: 10.02.2026).

Про затвердження ДБН Б.1.1-14:2012 "Склад та зміст детального плану території: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 12.03.2012 № 107. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0107858-12>. (дата звернення 12.02.2026 р.)

Про затвердження Державних санітарних правил планування і забудови населених пунктів : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.1996 р. № 173. [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96>. (дата звернення: 01.02.2026).

Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабі 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98): Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України № 56 від 09.04.98. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98>. (дата звернення 06.02.2026 р.).

Про затвердження Класифікації видів цільового призначення земель: наказ Держ. Комітету України із земельних ресурсів від 23.07.2010 р. № 548. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1011-10> (дата звернення: 10.02.2026).

Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру : Постанова Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2012 р. № 1051. Київ, 2012.

Про землеустрій: Закон України від 22.05.2003 р. № 858-IV. [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15> (дата звернення: 04.02.2026).

Про охорону атмосферного повітря: Закон України від 01.10.2023 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12> (дата звернення: 10.02.2026).

Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність : Закон України № 353-XIV від 23 грудня 1998 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text> (дата звернення: 10.02.2026).

Belay B., Diriba D., Senbeta F. Estimation of GHGs emission from traditional kilns charcoal production in northwestern Ethiopia: Implications on climate change. *Heliyon*. 2024. V. 10 (24). P. e41015. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41015>

García-Quezada J., Vásquez-Ibarra L., Musule-Lagunes R., Carrillo-Parra A., Guadalupe Romero-Izquierdo A. Environmental implications of using different kilns for charcoal production: A case study of Mexican sector. *Energy for Sustainable Development*. 2025. 89. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2025.101865>

Mencarelli A., Greco R., Grigolato S. Grilling and air pollution: how charcoal quality affects emissions. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2025. 18. P. 1757–1770. <https://doi.org/10.1007/s11869-025-01737-0>

References

Hihiyenichni rehlementy oriyentovno bezpechnykh rivniv vplyvu khimichnykh i biolohichnykh rehovyn v atmosferному povitri naselenykh mist's': Nakaz Ministerstva okhorony zdorov'ya Ukrainy vid 08.10.2021 r. [Hygienic regulations for approximately safe levels of exposure to chemical and biological substances in the atmospheric air of populated areas: Order of the Ministry of Health of Ukraine dated 08.10.2021]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0157-20> (access date 10.02.2026). [in Ukrainian]

Derzhavni budivel'ni normy Ukrainy. Planuvannya ta zabudova terytoriy. DBN. B.2.2-12:2019 [State Building Standards of Ukraine. Planning and Development of Territories. DBN. B.2.2-12:2019]. Kyiv: Minregionalbud of Ukraine, 2019. [in Ukrainian]

Derzhavni sanitarni pravyla okhorony atmosferного povitrya naselenykh mist's' (vid zabrudnennya khimichnykh ta biolohichnykh rehovynamy): Nakaz Ministerstva okhorony zdorov'ya Ukrainy vid 07.08.2014 [State Sanitary Rules for the Protection of Atmospheric Air in Population Areas (from Pollution by Chemical and Biological Substances): Order of the Ministry of Health of Ukraine dated 07.08.2014]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97> (access date 10.02.2026). [in Ukrainian]

Instruktsiya pro vstanovlennya (vidnovlennya) mezh zemel'nykh dilyanok v naturi (na mistsevosti) ta yikh zakriplennya mezhovymy znakamy : zatv. nakazom Derzh. komitetu Ukrainy iz zemel'nykh resursiv vid 18.05.2010 r. № 376 (iz zminamy) [Instructions on establishing (restoring) the boundaries of land plots in nature (on the ground) and fixing them with boundary signs: approved by order of the State Committee of Ukraine for Land Resources dated May 18, 2010 No. 376 (as amended)]. [Electronic resource] URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0391-10> (access date 07.02.2026). [in Ukrainian]

Zapolsky, A.K., Voytsytsky, A.P. & Pilkevych, I.A. (2012). *Monitorynh dovkillya : pidruchnyk [Environmental monitoring: textbook] / ed. Zapolsky, A.K. Kamianets-Podilskyi: Medobory-2006. Vol. 1.* [in Ukrainian]

Pro vnesennya zmin do deyakykh zakoniv Ukrainy shchodo udoskonalennya mekhanizmu rehulyuvannya vykydiv zabrudnyuyuchykh rehovyn v atmosferne povitrya : Zakon Ukrainy vid 09 lypnya 2022 r. № 2393-IX. [On Amendments to Certain Laws of Ukraine Regarding Improvement of the Mechanism for Regulating Emissions of Pollutants into the Atmospheric Air: Law of Ukraine No. 2393-IX of July 9, 2022]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2393-20#Text>. (access date 07.02.2026). [in Ukrainian]

Pro zabezpechennya Sanitarnoho ta epidemiolohichnoho blahopoluchchya naselennya: Zakon Ukrainy vid 24.02.1994 r. № 4004-KHII. [On Ensuring the Sanitary and Epidemiological Well-being of the Population: Law of Ukraine No. 4004-XII dated February 24, 1994]. [Electronic resource] URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12> (access date 10.02.2026). [in Ukrainian]

Pro zatverdzhennya DBN B.1.1-14:2012 "Sklad ta zmist detal'noho planu terytoriyi: Nakaz Ministerstva rehional'noho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva Ukrainy vid 12.03.2012 № 107. [On approval of DBN B.1.1-14:2012 "Composition and content of a detailed plan of the territory: Order of the Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine dated March 12, 2012 No. 107]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0107858-12>. (access date 12.02.2026). [in Ukrainian]

Pro zatverdzhennya Derzhavnykh sanitarnykh pravyl planuvannya i zabudovy naselenykh punktiv : nakaz Ministerstva okhorony zdorov'ya Ukrainy vid 19.06.1996 r. № 173. [On approval of the State Sanitary Rules for Planning and Development of Settlements: Order of the Ministry of Health of Ukraine dated June 19, 1996 No. 173]. [Electronic resource] URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96> (access date 01.02.2026). [in Ukrainian]

Pro zatverdzhennya Instruktsiyi z topohrafichnoho znimannya u masshtabi 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 (HKNTA-2.04-02-98): Nakaz Holovnoho upravlinnya heodeziyi, kartohrafiyi ta

kadastru pry Kabineti Ministriv Ukrayiny № 56 vid 09.04.98. [On approval of the Instructions for topographic surveying at scales 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 (GKNTA-2.04-02-98): Order of the Main Department of Geodesy, Cartography and Cadastre under the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 56 dated 09.04.98]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98>. (access date 06.02.2026). [in Ukrainian]

Pro zemleustriy: Zakon Ukrayiny vid 22.05.2003 r. № 858-IV. [On approval of the Classification of Land Purpose Types: Order of the State Committee of Ukraine for Land Resources dated July 23, 2010 No. 548]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1011-10>. (access date 06.02.2026). [in Ukrainian]

Pro zatverdzhennya Poryadku vedennya Derzhavnoho zemel'noho kadastru : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 17 zhovtnya 2012 r. № 1051. [On approval of the Procedure for maintaining the State Land Cadastre: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated October 17, 2012 No. 1051]. Kyiv, 2012 [in Ukrainian].

Pro zemleustriy: Zakon Ukrayiny vid 22.05.2003 r. № 858-IV. [On land management: Law of Ukraine dated May 22, 2003 No. 858-IV]. [Electronic resource] URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15>. (access date 04.02.2026). [in Ukrainian]

Pro okhoronu atmosfernoho povitrya: Zakon Ukrayiny vid 01.10.2023 r. [On the protection of atmospheric air: Law of Ukraine dated 01.10.2023]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12>. (access date 04.02.2026). [in Ukrainian]

Pro topografo-heodezychnu i kartohrafichnu diyal'nist' : Zakon Ukrayiny № 353-XIV vid 23 hrudnya 1998 r. [On topographic, geodetic and cartographic activities: Law of Ukraine No. 353-XIV of December 23, 1998]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>. (access date 10.02.2026). [in Ukrainian]

Belay, B., Diriba, D., & Senbeta, F. Estimation of GHGs emission from traditional kilns charcoal production in northwestern Ethiopia: Implications on climate change. *Heliyon*. 2024. V. 10 (24). P. e41015. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41015>. [in English].

García-Quezada, J., Vásquez-Ibarra, L., Musule-Lagunes, R., Carrillo-Parra, A., & Guadalupe Romero-Izquierdo, A. Environmental implications of using different kilns for charcoal production: A case study of Mexican sector. *Energy for Sustainable Development*. 2025. 89. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2025.101865>. [in English].

Mencarelli, A., Greco, R., & Grigolato, S. Grilling and air pollution: how charcoal quality affects emissions. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2025. 18. P. 1757–1770. <https://doi.org/10.1007/s11869-025-01737-0>. [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 02.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 31.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



УДК 504.06:551.3

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.32>

ГЕОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА РИЗИКІВ РОЗВИТКУ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ З УРАХУВАННЯМ СТАНУ ЛІСОВОГО ПОКРИВУ ТЕРИТОРІЇ (НА ПРИКЛАДІ ДІЛЯНКИ В БАСЕЙНІ Р. ТЕРЕБЛЯ, УКРАЇНСЬКІ КАРПАТИ)

В. О. Рушчак¹

У статті запропоновано та узагальнено геоecологічний підхід до оцінювання зсувного ризику для ділянки у верхів'ї басейну р. Тереля в межах Українських Карпат на основі комплексу факторів розвитку зсувів із урахуванням рослинного покриву території. Окрему увагу приділено врахуванню лісового покриву, як фактора просторового розвитку зсувних, зокрема, оцінено його просторову структуру, щільність, просторово-часову динаміку і положення відносно прояву зсуву та схилу. Актуальність дослідження зумовлена тим, що більшість регіональних моделей зсувної сприйнятливості спирається переважно на морфометричні, геологічні, техногенні чинники, а стан рослинного покриву зсувонебезпечних територій часто оцінюється лише у бінарному вигляді, враховуючи тільки факт його наявності. Для регіону Карпат таке спрощення є недостатнім, оскільки саме межа лісу, фрагментація, вирубки, порушення покриву та зміни рослинності істотно впливають на режим поверхневого і приповерхневого стоку вод, інфільтрацію, ерозійну підготовку схилів і, зрештою, на просторову локалізацію небезпечних зсувних ділянок. Метою роботи є побудова базової геоecологічної моделі зсувного ризику для ділянки в басейні р. Тереля на основі створеної моделі зсувної сприйнятливості (Landslide Susceptibility Assessment (LSA) яка крім ряду факторів враховує характер лісового покриву та його експозицію. У дослідженні використано кадастрові дані про зсуви ДНБП «Геоінформ України», цифрову модель поверхні ALOS AW3D30, набір MERIT Hydro, карти ESA WorldCover, продукти Hansen Global Forest Change, супутникові дані Landsat, Sentinel-2. Моделювання виконувалося у Google Earth Engine та геоінформаційній системі QGIS. Модель зсувної сприйнятливості території враховує морфометричний блок, гідрологічний блок і лісовий блок. Лісовий покрив параметризовано через відстань до межі лісу, щільність покриву, амплітуду NDVI, втрати лісу до 2001 р. і у 2001–2023 рр., а також частку лісу вище по схилу. Встановлено, що 73 % зсувів приурочено до смуги до 500 м від межі лісу. Побудована картограма LSA показала, що 35,3 % площі моделювання попадає в зони з дуже високою та високою сприйнятливістю території до розвитку зсувів. Наукова новизна полягає в адаптації алгоритму розрахунку зсувної сприйнятливості території та зсувних ризиків для досліджуваної території у межах Українських Карпат та врахуванні параметрів стану лісового покриву. Практичне значення полягає у можливості використання карти ризику для пріоритизації моніторингу територій, проведення лісгосподарських заходів, забезпеченні сталого розвитку території та визначенні ділянок першочергового інженерно-геологічного вивчення.

Ключові слова: зсувні процеси, геоecологічний ризик, лісовий покрив, просторовий аналіз, геоінформаційні системи, Google Earth Engine, дистанційне зондування Землі.

¹ аспірант кафедри екології

(Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ)

e-mail: rushchakvolodymyrr@gmail.com

ORCID: 0009-0000-6821-8637

GEOECOLOGICAL MODEL OF LANDSLIDE RISK WITH CONSIDERATION OF FOREST-COVER STRUCTURE AND SPATIAL EXPOSURE (A CASE STUDY OF A SITE IN THE TEREBLIA RIVER BASIN, UKRAINIAN CARPATHIANS)

V. O. Rushchak

The article proposes and generalizes a geoeological approach to landslide risk assessment for a study area located in the upper Tereblia River basin within the Ukrainian Carpathians, based on a set of landslide development factors with consideration of the vegetation cover of the territory. Special attention is given to forest cover as a factor in the spatial development of landslides; in particular, its spatial structure, density, spatiotemporal dynamics, and position relative to landslide occurrence and slope location were assessed. The relevance of the study is determined by the fact that most regional landslide susceptibility models rely primarily on morphometric, geological, and anthropogenic factors, whereas the condition of vegetation cover in landslide-prone areas is often assessed only in a binary way, considering merely its presence. For the Carpathian region, such simplification is insufficient, since forest edge, fragmentation, logging, cover disturbance, and vegetation changes significantly affect surface and near-surface runoff, infiltration, the erosional preconditioning of slopes, and, ultimately, the spatial localization of hazardous landslide areas. The aim of the study is to construct a baseline geoeological landslide risk model for a site in the Tereblia River basin on the basis of the developed Landslide Susceptibility Assessment (LSA) model, which, in addition to a range of factors, takes into account the characteristics of forest cover and its exposure. The study used cadastral landslide data from DNVP "Geoinform of Ukraine," the ALOS AW3D30 digital surface model, the MERIT Hydro dataset, ESA WorldCover maps, Hansen Global Forest Change products, and Landsat and Sentinel-2 satellite data. The modeling was carried out in Google Earth Engine and the QGIS geographic information system. The landslide susceptibility model of the territory includes a morphometric block, a hydrological block, and a forest block. Forest cover was parameterized through distance to forest edge, cover density, NDVI amplitude, forest loss before 2001 and during 2001–2023, as well as the proportion of forest located upslope. It was found that 73% of landslides are confined to a belt within 500 m of the forest edge. The constructed LSA map showed that 35.3% of the modeled area falls within zones of high and very high landslide susceptibility. The scientific novelty lies in the adaptation of an algorithm for calculating landslide susceptibility and landslide risks for the study area within the Ukrainian Carpathians, with explicit consideration of forest cover condition parameters. The practical significance lies in the possibility of using the risk map to prioritize territorial monitoring, plan forestry measures, support sustainable territorial development, and identify sites requiring priority engineering-geological investigation.

Key words: landslide processes, geoeological risk, forest cover, spatial analysis, geographic information systems, Google Earth Engine, remote sensing

Вступ

Зсувні процеси належать до найнебезпечніших проявів екзогенних геологічних процесів у гірських і передгірських регіонах. Зокрема, вони масово поширені у Карпатському регіоні (Інформаційний щорічник..., 2021). У сучасних підходах до моделювання розвитку зсувів прийнято розрізняти принаймні три рівні оцінювання: зсувну сприйнятливість як відповідь на питання «де?», небезпеку як відповідь на питання «де і за яких умов?», та ризик як відповідь на питання «де, для кого і з якими наслідками?». Для Українських Карпат ця логіка має не лише інженерно-геологічне, а й виразне геоекологічне значення, оскільки активізація зсувів супроводжується деградацією ґрунтового покриву, трансформацією ландшафтної структури, підвищенням ерозійної активності та загрозами для

населених пунктів, доріг та інфраструктури (Kovalchuk et al., 2013; Кузьменко, 2016; Reichenbach et al., 2018; Kasiyanchuk & Shtohryn, 2021).

Класичні моделі зсувної сприйнятливості (Landslide Susceptibility Assessment (LSA)) на регіональному рівні здебільшого спираються на морфометричні, геологічні та гідрологічні фактори. Такий підхід є виправданим, оскільки саме вони найбільш вагомими при активізації розвитку зсувних процесів. Для Карпатського регіону важливим є врахування лісового покриву території при моделюванні розвитку зсувних процесів, враховуючи як значну залісненість схилів так і деградацію лісового покриву в Українських Карпатах. У гірських регіонах лісовий покрив є вагомими чинником розвитку зсувних процесів, оскільки він змінює інтерцепцію опадів, їх інфільтрацію,

поверхневий та підземний стік, механічну стійкість приповерхневого шару через вплив кореневих систем дерев, просторову структуру поверхні схилу, через фрагментацію лісового покриву унаслідок вирубок, прокладання лісових доріг тощо. (Schmaltz et al., 2017; Muñoz-Torrero et al., 2022).

Для Українських Карпат особливо важливо, що просторове поширення зсувних ділянок відповідає взаємодії кількох блоків чинників–морфологічних характеристик рельєфу, дренажної мережі водотоків, структури лісу й антропогенного впливу. Саме тому спрощене врахування лісового покриву як класу «ліс / не ліс» не дозволяє належно відобразити його просторовий вплив. Більш інформативними факторними характеристиками є відстань до межі лісу, щільність деревного покриву, динаміка порушень покриву, сезонна зміна рослинності та наявність лісу у верхній частині схилу по відношенню до зсувної ділянки. У наукових дослідженнях показано, що лісовий покрив доцільно включати як окремий просторовий блок моделі зсувної сприйнятливості, а не як допоміжний чинник (Cherpurnyi et al., 2024; Rushchak & Cherpurnyi, 2025). Модель сприйнятливості території до розвитку зсувів не дає відповіді на питання про просторову локалізацію найбільш критичних загроз для населення й інфраструктури. Подальшим розвитку цієї моделі є перехід до оцінки ризиків, врахування загроз від розвитку зсувів для населення та інфраструктури (Кузьменко, 2016; Kasiyanchuk & Shtohryn, 2021). Для території Українських Карпат, де поселення, дороги, рекреаційні об'єкти та інженерні мережі часто розташовані безпосередньо під зсувонебезпечними схилами, цей перехід є принциповим.

Метою статті є побудова геоекологічної моделі зсувного ризику для ділянки в басейні р. Теремля на основі інтеграції моделі зсувної сприйнятливості, просторових характеристик лісового покриву та блоку просторової експозиції населення та інфраструктурних об'єктів. Для досягнення цієї мети розв'язано такі завдання: охарактеризовано район дослідження та підготовлено узгоджений набір просторових даних; параметризовано морфометричні, гідрологічні та лісові предиктори моделі; побудовано індексну модель LSA на основі експертно зважених факторів; перевірено структуру набору предикторів за допомогою кореляційного, факторного та PCA-аналізу; сформовано базову карту ризику.

Матеріал і методи

Базовим полігоном детального моделювання обрано ділянку площею 25 × 25 км у східній частині Закарпатської області, у верхів'ї басейну р. Теремля, між хребтами Красна та Пішконя (рис. 1). У межах ділянки розташовані населені пункти Колочава, Руська Мокра, Німецька Мокра, Брустури та Усть-Чорна. Згідно з кадастровими даними ДНВП «Геоінформ України», у межах цього полігону зареєстровано 236 зсувів. Територія характеризується типовими для Карпат стрімкими схилами, переважно у діапазоні 20–40°, флішовою будовою, високим рівнем зволоження, середніми абсолютними висотами близько 650 м н.р.м. і максимальними відмітками до 1300 м.

У роботі використано такі просторові джерела: кадастрові точки зсувів ДНВП «Геоінформ України»; цифрову модель поверхні ALOS AW3D30; гідрографічний набір MERIT Hydro; карту земного покриву ESA WorldCover; продукти Hansen / Global Forest Change; часові ряди Landsat для ретроспективного аналізу змін лісового покриву; супутникові дані Sentinel-2 для оцінки амплітуди NDVI. Попередню обробку й інтеграцію даних виконано у середовищі Google Earth Engine. Про доцільність та переваги використання платформи Google Earth Engine йдеться у роботах Hansen et al., 2013; Gorelick et al., 2017; Zanaga et al., 2022; Yamazaki et al., 2019. Ці роботи демонструють застосування хмарної платформи Google Earth Engine для роботи з відкритими даними дистанційного зондування землі для оцінки стану лісового покриву територій та водних ресурсів. Крім цього такий підхід забезпечує можливість комплексування просторових даних, які стосуються різноманітних просторових чинників та виконувати геоінформаційний аналіз, моделювання та картографування природних і техногенних явищ і процесів у тому числі сприйнятливості територій до розвитку зсувних процесів (Давибида, 2021; Орещенко, 2022; Ivanyshyn & Kasiyanchuk, 2024; Гарбар та ін., 2024; Davybida, 2025).

Усі шари було приведено до спільної просторової основи й уніфікованої робочої сітки. До моделі LSA включено три групи предикторів. Морфометричний блок охоплював крутизну схилу, експозицію, абсолютну висоту та шорсткість рельєфу. Гідрологічний блок було представлено показником близькості до водотоків. Лісовий блок включав близькість до межі лісу, щільність

лісового покриву, амплітуду NDVI, втрати лісу до 2001 р., втрати лісу у 2001–2023 рр. і лісовий покрив вище по схилу. Такий набір змінних дозволив подати лісовий покрив не як фон, а як багатокомпонентний модифікатор зсувної небезпеки.

Типовою формулою, яка використовується для розрахунку зсувної сприйнятливості територій LSA є:

$$LSA = \sum_{i=1}^n w_i \cdot F_i$$

де:

LSA – інтегральний індекс зсувної сприйнятливості території

Σ – сума всіх факторів, включених до моделі

i – порядковий номер фактора

n – загальна кількість факторів у моделі

w_i – ваговий коефіцієнт i-го фактора

F_i – нормалізоване значення i-го фактора

Результати

Щоб оцінити внутрішню узгодженість факторів, які увійшли до моделі, у межах вибірки n = 236 точок зсувів виконано кореляційний, факторний і PCA-аналіз. Кореляційний аналіз показав найсильніший позитивний зв'язок між шорсткістю рельєфу та крутизною схилу ($r = 0,76$; $p < 0,01$) і найсильніший негативний зв'язок між висотою та близькістю до водото-

ків ($r = -0,57$; $p < 0,01$). Кластерний аналіз встановив наявність кількох змістовних блоків предикторів, зокрема, найтісніший зв'язок встановлено у парі факторів “рельєфу – крутизна схилу”. Окремо групуються близькість до межі лісу з близькістю до водотоків, амплітуда NDVI з втратами лісу до 2001 р., висота з втратами лісу 2001–2023. За результатами факторного аналізу встановлено, що за першою головною компонентою згруповано чинники, які відносяться до морфометричних характеристик рельєфу та характеристик лісового покриву (шорсткість рельєфу, крутизна схилу, щільність лісового покриву), що узгоджено з результатами кластерного аналізу. Перший компоненті відповідає 30,7 % загальної мінливості.

Одним із найважливіших результатів є підтвердження того, що для території досліджень в басейні р. Тереля вирішальним є не лише сам факт заліснення, а просторове положення зсувів відносно межі лісу. За результатами просторового аналізу, 73 % зсувів приурочено до смуги 0–500 м від межі лісу. Це означає, що прикрайові зони лісу є критичними з погляду зсувної чутливості, оскільки саме тут можливе створення додаткового гідродинамічного тиску інфільтрованих у межах лісового масиву

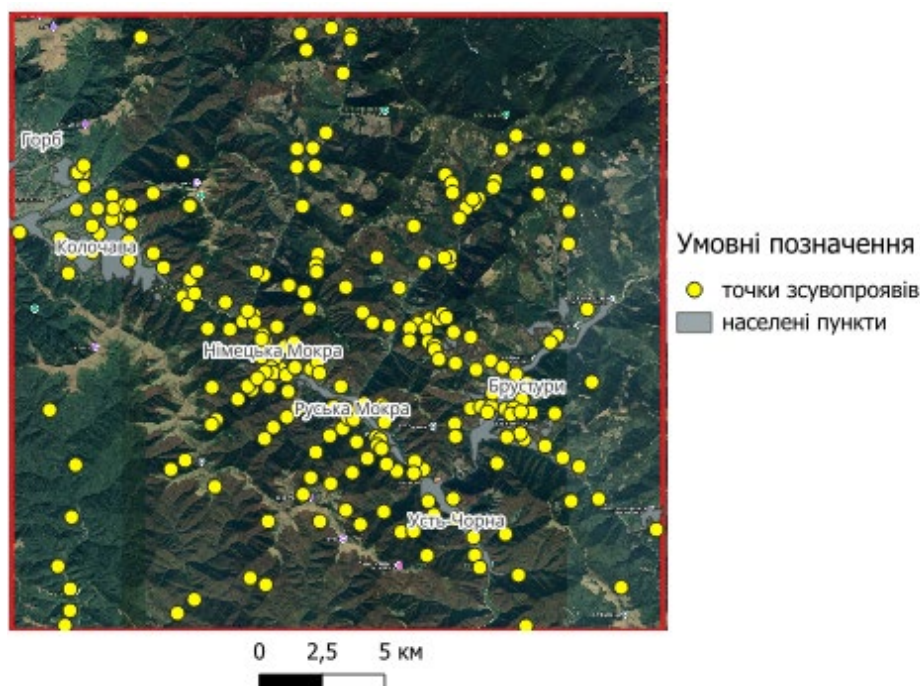


Рис. 1. Карта району дослідження та локалізація зсувних ділянок у межах басейну р. Тереля

вод, неоднорідність інфільтраційних умов, порушення безперервності кореневого армування та вища ймовірність антропогенних втручань (Рушак і Чепурний, 2024; Cherpurnyi et. al., 2024). Прояви зсувних процесів на межі лісового покриву можна обґрунтувати низкою фізичних чинників. Насамперед, це підвищена кількість опадів, яка призводить до інтенсивного зволоження та насичення ґрунтів. Крім того, у межах лісу добре дреновані породи сприяють переходу поверхневого стоку у підземний. Важливу роль відіграє також внутрішній стік води вздовж схилу. Зростання гідродинамічного тиску вздовж фільтраційного потоку вниз по схилу пов'язане зі зменшенням водопроникності порід за межами лісу. Додатковим фактором є вирубка лісу, яка найчастіше здійснюється саме на межі лісових масивів і суттєво впливає на активізацію зсувних процесів.

Важливим етапом дослідження була оцінка вагових коефіцієнтів для факторних характеристик, які враховано у моделі LSA. Для оцінки цих коефіцієнтів застосовано метод аналізу ієрархій (Analytic Hierarchy Process, АНР), який дозволяє оцінювати кількісні та якісні критерії за допомогою парних порівнянь, визначаючи ваги факторів та пріоритети альтернатив (Lima et al., 2022). Найвищі ваги отримали близькість до водотоків (0,21), крутизна схилу (0,16), близькість до межі лісу (0,16) та щільність лісового покриву (0,16). Середню вагу мав показник шорсткості рельєфу (0,10) і втрати лісу у 2001–2023 рр. (0,08), а менші ваги – експозиція, амплітуда NDVI, ліс вище по схилу, абсолютна висота та втрати лісу до 2001 р. Такий розподіл відповідає значущості факторів у формуванні схильності до зсувів; відповідні вагові коефіцієнти наведено в (табл. 1).

Таблиця 1
Вагові коефіцієнти факторів моделі LSA

Фактор	Вага
Близькість до водотоків	0,21
Крутизна схилу	0,16
Близькість до межі лісу	0,16
Щільність лісового покриву	0,16
Шорсткість рельєфу	0,10
Втрати лісу у 2001–2023 рр.	0,08
Експозиція схилу	0,03
Амплітуда NDVI	0,03
Ліс вище по схилу	0,03
Абсолютна висота	0,02
Втрати лісу до 2001 р.	0,02

Розрахований індекс LSA змінюється у межах 0–1. Його було перекласифіковано на п'ять класів за сприйнятливістю території до розвитку зсувів: 1–дуже низька, 2–низька, 3–середня, 4–висока, 5–дуже висока сприйнятливість. Валідацію моделі виконано за схемою 70 % / 30 %: 70 % точок використано як тренувальну вибірку, 30 % – як тестову.

Базову модель ризику побудовано як результат взаємодії компоненти небезпеки, експозиції та вразливості. Небезпека-блок апроксимовано індексом LSA. Просторова експозиція у робочій схемі була пов'язана з населенням, забудовою та дорогами. Відповідно до фінальної моделі, ризик для людей та інфраструктури розраховувався у шкалі 0–1 за формулою

$$R = H \times E \times (0,7 + 0,3 \times V_d)$$

де: R – ризик, H – небезпека, E – експозиція, V_d – демографічна вразливість населення.

У цій формулі отримані значення LSA відповідають небезпеці, просторове поширення населення, інфраструктурних об'єктів, будівель та споруд. Враховане в експозиції, коефіцієнт V_d дозволяє врахувати демографічну вразливість населення, а саме дітей до 14 років та людей похилого віку більше 65 років. Такий підхід описаний у роботі (Wang et al., 2021), де оцінено ризик розвитку зсувів на основі розрахованої моделі сприйнятливості території до розвитку зсувних процесів та з використанням ключових елементів експозиції вразливих економічних, матеріальних, суспільних елементів. Така постановка дозволяє перейти від природної сприйнятливості до геоекологічної інтерпретації потенційних наслідків.

Побудована картограма LSA, яка зображена на рисунку 2, продемонструвала виразну просторову диференціацію території за ступенем зсувної сприйнятливості. Найвищі значення індексу формуються на крутих схилах, морфометрично розчленованих ділянках, схилах, пов'язаних із дренажною мережею, крайових зонах лісових масивів і на ділянках із ознаками порушення або ослаблення лісового покриву. Зсувна сприйнятливість у межах території досліджень визначається не одним домінуючим фактором, а збігом кількох чинників, серед яких структурні характеристики лісу відіграють роль не меншу, ніж морфометрія. Просторовий розподіл розрахованих класів зсувної сприйнятливості для досліджуваної території наведено на (рис. 2).

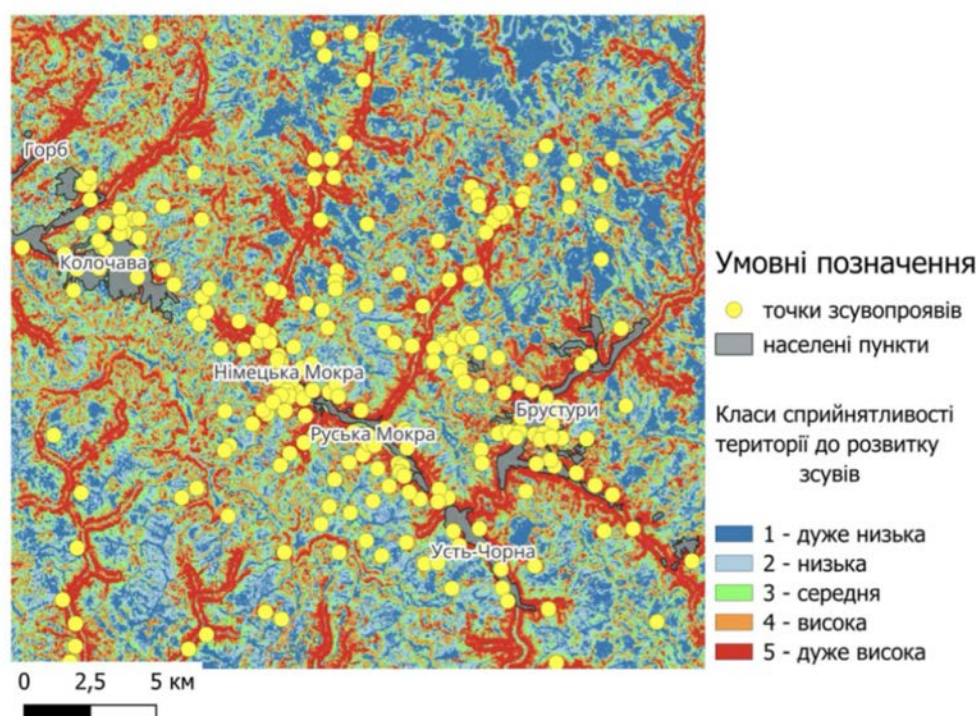


Рис. 2. Карта зсувної сприйнятливості території (LSA) для ділянки в басейні р. Тереля

Кількісний розподіл площі за класами LSA показав, що найбільшу частку займає середній клас сприйнятливості – 30,9 %. Низький клас охоплює 22,9 % території, дуже низький – 10,8 %, високий – 23,4 %, дуже високий – 11,9 %. Отже, сумарно високі та дуже високі класи охоплюють 35,3 % площі моделювання. Це свідчить про те, що більше третини території має виразні передумови до активізації зсувів, а зсувна небезпека в басейні р. Тереля має не локальний, а системний характер.

Розподіл тестової вибірки зсувів за класами LSA підтвердив практичну придатність моделі. До дуже низького класу потрапили 2 тестові зсуви, до низького – 15, до середнього – 21, до високого – 23, до дуже високого – 19. Таким чином, 78,8 % тестових зсувів зосереджено в класах 3–5. Для регіональної індексної моделі це є важливим аргументом на користь коректності ранжування території та доцільності включення лісових предикторів до фінального варіанту LSA. Узагальнений розподіл площі моделювання і тестових зсувів за класами LSA наведено в (табл. 2).

Гістограма розподілу значень LSA у вибірці зсувних точок ($n = 236$) (рис. 3) додатково показує зміщення розподілу у бік середніх і високих класів. Середнє значення

становить 3,57, що вказує на домінування несприятливих умов серед інвентаризованих об'єктів. Найбільша частота спостерігається у високих класах LSA, а це означає, що фактичний розподіл зсувних точок узгоджується з просторовою логікою побудованої моделі.

Таблиця 2
Розподіл площі моделювання та тестових зсувів за класами LSA

Клас LSA	Інтервал	Частка площі, %	Кількість тестових зсувів
1	0,0–0,2	10,8	2
2	0,2–0,4	22,9	15
3	0,4–0,6	30,9	21
4	0,6–0,8	23,4	23
5	0,8–1,0	11,9	19

Після інтеграції зсувної небезпеки з блоком просторової експозиції було сформовано фінальну карту ризику для людей та інфраструктури (рис. 4). На відміну від картограми LSA, яка відображає переважно природну складову формування зсувної небезпеки, карта ризиків локалізує ті ділянки, де ця передумова збігається з просторовим поширенням вразливих об'єктів та населення. Найвищі значення ризику

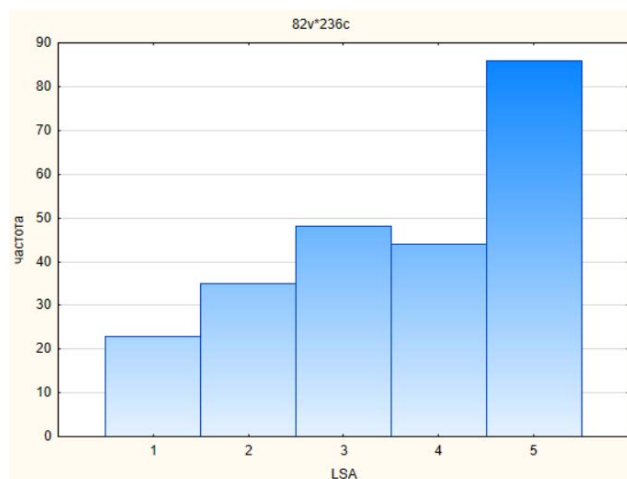


Рис. 3. Гістограма розподілу значень LSA у вибірці зсувних точок (n = 236)

формуються вибірково – у зонах, де високі або дуже високі значення LSA збігаються з забудовою, транспортними коридорами, населеними пунктами та контактними смугами між освоєними територіями й зсувонебезпечними схилами.

Смуги високого ризику тяжіють до заселених частин долини, ділянок із щільнішою інфраструктурою та тих сегментів схилів, де висока сприйнятливість доповнюється просторовою експозицією. Це означає, що не кожен крутий схил автоматично належить до зон високого ризику; такими є насамперед ті ділянки, де зсувна небезпека накладається на високу щільність населення.

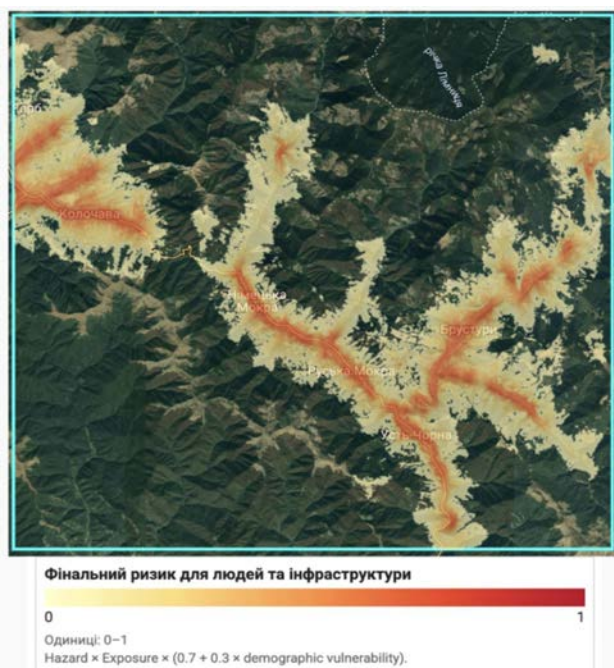


Рис. 4. Фінальна карта геоекологічного ризику для людей та інфраструктури

Обговорення

Отримані результати підтверджують, що для басейну р. Тересля ключовим методичним кроком є перехід від спрощеного трактування лісу як фонового шару до розгляду його структури як функціонального елемента моделі. Це принципово важливо для Карпат, де ліс часто сприймається як автоматично стабілізуючий фактор. Зсуви можуть виникати і на добре заліснених схилах, якщо високий морфометричний потенціал, гідрологічний контроль і ерозійні процеси компенсують стабілізуючу роль рослинності. Водночас крайові зони лісу й ділянки порушеного покриву є особливо чутливими до схлизових процесів.

Кореляційний, факторний і PCA-аналіз показали, що набір предикторів формує не випадкову суму ознак, а змістовні блоки: морфометричний, висотно-гідрографічний і блок сучасних порушень покриву. Це означає, що включення лісового блоку до LSA-моделі є обґрунтованим рішенням. Важливою перевагою запропонованого підходу є використання відкритих геоданих і відтворюваного алгоритму. Це створює можливість масштабування моделі на інші зсувонебезпечні території Українських Карпат. У дослідженні зроблено акцент на просторовій інтерпретації ризику й на чіткому зв'язку між небезпекою та експозицією, а саме місцями поширенням вразливих об'єктів та високої щільності населення.

У підходах, які використано у дослідженні слід звернути увагу на представлення зсувних ділянок у вигляді точок, відсутність надійних дат активізації зсувних процесів, а також статичний характер базової моделі ризику. Через це карта ризику повинна розглядатися не як оперативний короткостроковий прогноз, а як просторове районування довгострокового фону небезпеки для людей та інфраструктури. Наступним кроком розвитку підходу має стати інтеграція часових тригерів, передусім опадів, вологості ґрунту та паводків, а також деталізація блоку експозиції через окремі шари забудови, доріг та демографічної вразливості.

З практичного погляду карта ризику є дозволяє ефективно використовувати ресурси для моніторингу і превентивних заходів не на всіх зсувонебезпечних схилах, а насамперед на тих, які безпосередньо впливають на населені пункти, дороги, рекреаційні об'єкти та інші елементи.

Висновки

На прикладі території у верхів'ї басейну р. Тереля розроблено геоecологічну модель зсувного ризику, у якій лісовий покрив розглянуто як повноцінний фактор зсувоутворення.

Показано, що найбільш інформативними факторними характеристиками лісового покриву є не лише наявність лісу, а передусім його структура – близькість до межі лісу, щільність покриву, амплітуда NDVI, історія втрат покриву та частка лісу у верхній частині схилу.

Встановлено, що 73 % зсувів приурочено до смуги 0–500 м від межі лісу, що підтверджує значну роль лісового покриву при активізації зсувних процесів.

Побудована карта LSA показала, що високі та дуже високі класи сприйнятливості охоплюють 35,3 % площі моделювання. 78,8 % тестових зсувів потрапляють до класів середньої, високої та дуже високої сприйнятливості.

Кореляційний, факторний і кластерний аналіз підтвердили, що набір використаних предикторів формує змістовно узгоджену багатовимірну структуру, у якій морфометричні, гідрографічні та лісові чинники не дублюють одне одного, а відображають різні механізми впливу на розвиток зсувних процесів.

Фінальна карта геоecологічного ризику локалізує насамперед ті ділянки, де висока небезпеки збігається з просторовою експозицією населення, забудови та транспортної мережі. Найбільш критичними є приузлісні схили поблизу поселень і доріг.

Практичне значення полягає у можливості використання карти ризику для пріоритизації моніторингу територій, проведення лісогосподарських заходів, забезпеченні сталого розвитку територій та визначенні ділянок першочергового інженерно-геологічного вивчення. Подальше вдосконалення підходу доцільно пов'язати з інтеграцією часових тригерів, актуалізацією інвентаризації зсувів і деталізацією блоку просторової експозиції та вразливості.

Список використаної літератури

- Гарбар О. В., Весельська Е. В., Хом'як І. В., Гарбар Д. А. Просторово-часові зміни структури земельного покриву Словечансько-Овруцького кряжу. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 7. С. 197–209. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.22>.
- Давибида Л. І. Аналіз можливостей і досвіду використання платформи Google Earth Engine для вирішення задач моніторингу довкілля. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2021. Т. 12, № 2. С. 75–86. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-2\(24\)-75-86](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-2(24)-75-86).
- Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу ЕГП. Київ : Державна служба геології та надр України, ДНВП «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2021. 78 с.
- Кузьменко Е. Д. (ред.). *Прогнозування зсувів : монографія*. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2016. 601 с.
- Орещенко А. В. Аналіз геоморфологічних характеристик гірськолижних трас для оцінки туристичного потенціалу Українських Карпат. *Український журнал природничих наук*. 2022. № 1. С. 123–142. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.1.2023.123-142>.
- Chepurnyi I., Rushchak V., Chepurna T. Spatial Analysis of the Relationship between the Distribution of Landslide Areas and Forest Cover. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024»*. 2024. Vol. 2024, issue 1. P. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510017>.
- Davybida L. Remote sensing and Google Earth Engine for Regional Landslide Assessment in the Carpathians. *5th EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and Impact on Communities*. 2025. Vol. 2025, issue 1. P. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025520018>.
- Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 202. P. 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- Hansen M. C., Potapov P. V., Moore R., Hancher M., Turubanova S. A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S. V., Goetz S. J., Loveland T. R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C. O., Townshend J. R. G. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*. 2013. Vol. 342, issue 6160. P. 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>.
- Ivanyshyn V., Kasiyanchuk D. Analysis of the Impact of Climate Change on the Vegetation of the Perehinsk Territorial Community in Ukraine. *Grassroots Journal of Natural Resources*. 2024. Vol. 7, issue 2. P. 199–215. <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.070210>.

Kasiyanchuk D., Shtohryn L. Assessment of the Ecological Risks of Landslide Damages in the Carpathian Region. *Grassroots Journal of Natural Resources*. 2021. Vol. 4, issue 3. P. 52–61. <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.040306>.

Kovalchuk I., Mykhnovych A., Pylypovych O., Rudko G. Extreme Exogenous Processes in the Ukrainian Carpathians. In: Łoczy D. (Ed.). *Geomorphological Impacts of Extreme Weather*. Dordrecht : Springer, 2013. P. 53–66. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6301-2_4.

Lima P., Steger S., Glade T., Murillo-García F. G. Literature review and bibliometric analysis on data-driven assessment of landslide susceptibility. *Journal of Mountain Science*. 2022. Vol. 19, issue 6. P. 1670–1698. <https://doi.org/10.1007/s11629-021-7254-9>.

Muñoz-Torrero Manchado T., Ballesteros-Cánovas J. A., Allen S., Stoffel M. Deforestation controls landslide susceptibility in Far-Western Nepal. *CATENA*. 2022. Vol. 219. Article 106627. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106627>.

Reichenbach P., Rossi M., Malamud B. D., Mihir M., Guzzetti F. A review of statistically based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*. 2018. Vol. 180. P. 60–91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>.

Rushchak V., Chepurnyi I. Assessment of Forest Cover Dynamics in Landslide-Prone Areas of the Ukrainian Carpathians using Remote Sensing Data. *18th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. 2025. Vol. 2025, issue 1. P. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025510172>.

Schmaltz E. M., Steger S., Glade T. The influence of forest cover on landslide occurrence explored with spatio-temporal information. *Geomorphology*. 2017. Vol. 290. P. 50–264. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.04.024>.

Wang Y., Wen H., Sun D., Li Y. Quantitative Assessment of Landslide Risk Based on Susceptibility Mapping Using Random Forest and GeoDetector. *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13, issue 13. Article 2625. <https://doi.org/10.3390/rs13132625>.

Yamazaki D., Ikeshima D., Sosa J., Bates P. D., Allen G. H., Pavelsky T. M. MERIT Hydro: A high-resolution global hydrography map based on latest topography dataset. *Water Resources Research*. 2019. Vol. 55, issue 6. P. 5053–5073. <https://doi.org/10.1029/2019WR024873>.

Zanaga D., Van De Kerchove R., De Keersmaecker W. et al. ESA WorldCover 10 m 2020 v100 [Data set]. Zenodo, 2021. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936>.

References

Harbar, O. V., Veselska, E. V., Khomiak, I. V., & Harbar, D. A. (2024). Prostorovo-chasovi zminy struktury zemelnogo pokryvu Slovechansko-Ovrutskoho kriazhu [Spatio-temporal changes in the land cover structure of the Slovechansko-Ovruch Ridge]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychych nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, (7), 197–209. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.22> [in Ukrainian].

Davybida, L. I. (2021). Analiz mozhlyvostei i dosvidu vykorystannia platformy Google Earth Engine dlia vyrishennia zadach monitorynhu dovkillia [Analysis of capabilities and experience of using Google Earth Engine platform for environmental monitoring challenges]. *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia [Ecological Safety and Balanced Use of Resources]*, 12(2), 75–86. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-2\(24\)-75-86](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-2(24)-75-86) [in Ukrainian].

Informatsiyni shchorichnyk shchodo aktyvizatsii nebezpechnykh ekzohennykh heolohichnykh protsesiv za danyimi monitorynhu EHP [Information yearbook on the activation of hazardous exogenous geological processes according to EGP monitoring data]. (2021). Kyiv: State Service of Geology and Subsoil of Ukraine; State Scientific and Production Enterprise “State Information Geological Fund of Ukraine” [in Ukrainian].

Kuzmenko, E. D. (ed.) (2016). *Prohnozuвання zsuviv: monohrafiia* [Landslide forecasting: monograph]. Ivano-Frankivsk: Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas [in Ukrainian].

Oreshchenko, A. V. (2022). Analiz heomorfologichnykh kharakterystyk hirskolyzhnykh tras dlia otsinky turystychnoho potentsialu Ukrainskykh Karpat [Analysis of geomorphological characteristics of ski slopes for assessing the tourism potential of the Ukrainian Carpathians]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychych nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, (1), 123–142. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.1.2023.123-142> [in Ukrainian].

Chepurnyi, I., Rushchak, V., & Chepurna, T. (2024). Spatial Analysis of the Relationship between the Distribution of Landslide Areas and Forest Cover. *International Conference of Young Professionals*

«GeoTerrace-2024» (Vol. 2024, Issue 1, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510017> [in English].

Davybida, L. (2025). Remote sensing and Google Earth Engine for Regional Landslide Assessment in the Carpathians. *5th EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and Impact on Communities* (Vol. 2025, Issue 1, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025520018> [in English].

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031> [in English].

Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend, J. R. G. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 342(6160), 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693> [in English].

Ivanyshyn, V., & Kasiyanchuk, D. (2024). Analysis of the Impact of Climate Change on the Vegetation of the Perehynsk Territorial Community in Ukraine. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 7(2), 199–215. <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.070210> [in English].

Kasiyanchuk, D., & Shtohryn, L. (2021). Assessment of the Ecological Risks of Landslide Damages in the Carpathian Region. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 4(3), 52–61. <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.040306> [in English].

Kovalchuk, I., Mykhnovych, A., Pylypovych, O., & Rudko, G. (2013). Extreme Exogenous Processes in the Ukrainian Carpathians. In D. Łoczy (Ed.), *Geomorphological Impacts of Extreme Weather* (pp. 53–66). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6301-2_4 [in English].

Lima, P., Steger, S., Glade, T., & Murillo-García, F. G. (2022). Literature review and bibliometric analysis on data-driven assessment of landslide susceptibility. *Journal of Mountain Science*, 19(6), 1670–1698. <https://doi.org/10.1007/s11629-021-7254-9> [in English].

Muñoz-Torrero Manchado, T., Ballesteros-Cánovas, J. A., Allen, S., & Stoffel, M. (2022). Deforestation controls landslide susceptibility in Far-Western Nepal. *CATENA*, 219, 106627. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106627> [in English].

Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., & Guzzetti, F. (2018). A review of statistically based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, 180, 60–91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001> [in English].

Rushchak, V., & Chepurnyi, I. (2025). Assessment of Forest Cover Dynamics in Landslide-Prone Areas of the Ukrainian Carpathians using Remote Sensing Data. *18th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* (Vol. 2025, Issue 1, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025510172> [in English].

Schmaltz, E. M., Steger, S., & Glade, T. (2017). The influence of forest cover on landslide occurrence explored with spatio-temporal information. *Geomorphology*, 290, 250–264. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.04.024> [in English].

Wang, Y., Wen, H., Sun, D., & Li, Y. (2021). Quantitative Assessment of Landslide Risk Based on Susceptibility Mapping Using Random Forest and GeoDetector. *Remote Sensing*, 13(13), 2625. <https://doi.org/10.3390/rs13132625> [in English].

Yamazaki, D., Ikeshima, D., Sosa, J., Bates, P. D., Allen, G. H., & Pavelsky, T. M. (2019). MERIT Hydro: A high-resolution global hydrography map based on latest topography dataset. *Water Resources Research*, 55(6), 5053–5073. <https://doi.org/10.1029/2019WR024873> [in English].

Zanaga, D., Van De Kerchove, R., De Keersmaecker, W., Souverijns, N., Brockmann, C., Quast, R., Wevers, J., Grosu, A., Paccini, A., Vergnaud, S., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Georgieva, I., Lesiv, M., Carter, S., Herold, M., Li, L., Tsendbazar, N. E., ... Arino, O. (2021). *ESA WorldCover 10 m 2020 v100* [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 27.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

ЗМІСТ

БІОЛОГІЯ

Н. М. Бовсуновська, І. П. Онищук. Оцінка функціональних можливостей дихальної системи жінок-волейболісток у контексті спортивної працездатності та відновлення.....	7
А. В. Гаврилюк, І. В. Безноско, Д. В. Гуменний, Д. Т. Гентош. Формування фітопатогенного фону в агроценозах томата (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) за дії стимуляторів росту.....	22
О. І. Заболотний. Екотоксикологічна оцінка ферментативних реакцій кукурудзи за сумісного застосування гербіциду та біопрепарату.....	33
К. Г. Коваль, С. М. Хоменко, А. І. Юхименко. Аналіз психофізіологічної адаптації до навчання здобувачів вищої освіти України в умовах воєнного стану.....	41
Н. Я. Левчик, Н. В. Заїменко, Н. Є. Горбенко. Ціятій як особлива структурно-морфологічна одиниця розмноження рослин родини Euphorbiaceae Juss.....	53
О. В. Овдіюк, А. П. Горальський. Особливості морфології серця лисиці звичайної (<i>Vulpes Linnaeus, 1758</i>).....	71

ГЕОГРАФІЯ

І. К. Nesterchuk. Intersection of interrelations between gastronomic landscape and cuisines of ethnos of Right-bank Polissya of Ukraine.....	87
М. І. Вудвуд. Русловий процес річки Черемош в межах Українських Карпат у природних умовах.....	96
І. І. Костащук, М. В. Балинський. Демографічні диспропорції територіальних громад Чернівецької області як основа формування локальних систем розселення.....	108
В. В. Маєвський, Д. І. Холявчук, С. М. Кирилюк, Я. А. Поп'юк, І. П. Добинда. Просторове моделювання лавинної небезпеки Боржавського гірського масиву засобами QGIS.....	116
Т. С. Павловська, В. Ю. Стельмах, С. П. Бондарчук, В. І. Климюк. Вітровий режим на метеостанції Луцьк у 2001–2024 рр.....	129
Н. М. Петруха, С. В. Петруха, О. Б. Шаповалов. Зелена трансформація регіональної економіки: географічний вимір.....	142
Т. С. Ямелинець, З. П. Паньків, І. Я. Папіш, Ю. І. Наконечний. Ґрунтові інформаційні системи як інструмент інтегрованого управління ґрунтовими ресурсами на основі геоінформаційних систем, просторової статистики та дистанційного зондування.....	156

ХІМІЯ

В. О. Кучеренко, Ю. В. Тамаркіна, О. В. Акопов. Азотнокислотна модифікація вивіреного вугілля як метод покращення поглинальної здатності вуглецевих адсорбентів.....	167

АГРОНОМІЯ

А. В. Алексєєв, О. О. Іжболдін. Агротехнологічні заходи підвищення економічної та біоенергетичної ефективності вирощування різностиглих гібридів соняшнику в умовах Північного Степу України.....	180
О. О. Вінюков, С. Є. Ліхушин. Вплив покривних культур на формування біометричних показників еспарцету виколистого першого року життя.....	189
Г. Б. Вологдіна, О. В. Гуменюк, І. В. Правдзіва, С. В. Пикало, Н. П. Замліла. Селекційна цінність ліній пшениці озимої за продуктивністю та показниками якості зерна.....	199
Т. І. Дмитраш, Я. Я. Григорів. Продуктивність та якість біомаси міскантусу гігантського за різних систем удобрення.....	213
А. О. Донець, Т. Ю. Марченко, О. О. Пілярська, С. В. Міщенко, Ю. О. Лавриненко. Урожайність зерна та біометричні показники гібридів кукурудзи різних груп ФАО за беззмінних посівів та системи захисту від сегетальної рослинності.....	221
В. К. Заїка, Д. І. Шеленко, В. В. Гусак, П. М. Дмитрик. Ресурсний потенціал та стратегічні орієнтири вирощування енергетичних культур на малопродуктивних землях України до 2035 року.....	234

Б. В. Матвійчук, Н. Г. Матвійчук, А. Г. Савченко, О. О. Любарська, Б. Р. Костенко. Продуктивність руки за різних варіантів досвічування в культивацийних спорудах закритого ґрунту.....	242
Р. В. Невгод. Біохімічні компоненти бульб картоплі сорту Мирослава за органічної системи вирощування в умовах Полісся України.....	251
М. Ю. Осіпов, В. В. Поліщук. Оцінювання адаптивної здатності видів роду <i>Hydrangea</i> L. в умовах Правобережного Лісостепу України.....	264
Н. В. Писаренко, М. М. Фурдига, Н. А. Захарчук, Т. М. Олійник. Вплив міжрічної та декадної мінливості агрометеорологічних чинників на розвиток альтернаріозу картоплі в умовах Центрального Полісся України.....	272
А. М. Польовий, О. В. Вольвач, О. А. Барсукова. Агрокліматичні умови продуктивності гороху на Черкащині в умовах потепління клімату.....	288
Г. Я. Слободяник. Вплив технологічних факторів на формування розсади і врожайності цибулі порей (<i>Allium porrum</i> L.).....	298
С. М. Шакалій, А. В. Баган. Вплив сорту та біопрепарату на формування продуктивного потенціалу ячменю ярого	308
Н. В. Яценко, І. С. Луценко. Генотипова зумовленість формування генеративних органів і врожайної структури сортів квасолі овочевої в Лісостепу України.....	315

ЕКОЛОГІЯ

Н. В. Воронова, В. В. Горбань, Д. В. Височін, Д. Ю. Коростильов. Деградація гідроекосистеми малої річки Мокра під впливом техногенного навантаження, змін клімату та воєнних дій.....	325
І. В. Загороднюк, М. А. Коробченко. Поняття і прояви солітарності в екології тварин	333
Т. М. Коткова, Ю. С. Шелюк, І. Ф. Карась. Обґрунтування розміру санітарно-захисної зони промайданчика з випалювання деревного вугілля (ТОВ «ЕкоКарбекс» село Радичі Житомирського району) з урахуванням обмежень.....	344
В. О. Рушак. Геоecологічна оцінка ризиків розвитку зсувних процесів з урахуванням стану лісового покриву території (на прикладі ділянки в басейні р. Тереля, Українські Карпати).....	356

НОТАТКИ